



Rui Miguel Maia Pires

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

Estudo da Industrialização de Peça Complexa com Base nas Tolerâncias

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: António J. F. Mourão, Professor Doutor, Faculdade de
Ciências e Tecnologia

Co-orientador: Miguel D. Matias Rodrigues, Mestre em Engenharia Mecânica,
HVCC Portugal

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Gabriel Marques Duarte dos Santos

Vogais: Prof. Doutor António José Freire Mourão

Prof. Doutora Carla Maria Moreira Machado

Engenheiro Nuno Alexandre de Carvalho Guerin



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

setembro, 2015

Estudo da Industrialização de Peça Complexa com Base nas Tolerâncias

Copyright © Rui Miguel Maia Pires, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu caro orientador, Professor Doutor António Mourão, pela oportunidade de realizar a presente Dissertação. Pela sua disponibilidade, ajuda e incentivo ao longo deste trabalho, pelo seu empenho nos esclarecimento de dúvidas, pelas críticas, correções e sugestões, e por toda a preocupação e confiança em mim depositada.

Ao Engenheiro Nuno Guerin por proporcionar o caso de estudo, pela sua disponibilidade em fornecer informação necessária para a realização da presente dissertação. Ao Engenheiro Miguel Rodrigues por todo o tempo e disponibilidade dedicados para o esclarecimento de dúvidas, e por todo o conhecimento que me transmitiu ao longo deste projeto.

Gostaria especialmente de agradecer aos meus pais, Augusto e Julieta, bem como ao meu irmão Bruno, pelo apoio incondicional demonstrado não só durante este projeto, mas também nos últimos cinco anos, e por tudo o que consegui até hoje e que espero vir a conseguir no futuro. Um enorme muito obrigado!

Aos meus familiares, pela constante amizade e apoio, que à sua maneira também contribuíram decisivamente para a realização deste trabalho.

À minha namorada Margarida por todo o amor e amizade que diariamente me proporciona, pela vontade, força e motivação para ultrapassar as adversidades e enfrentar novos desafios.

Gostaria de agradecer a todos os meus amigos, em especial aos “7 e derivados”, para todos vocês um muito obrigado. Por toda a amizade, por todo o companheirismo e por todos os momentos que vivenciámos durante estes magníficos anos.

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo a elaboração de uma metodologia que permita facilitar a criação de planos de maquinação de peças com tolerância apertadas.

Este estudo surge devido à dificuldade associada à criação de planos de maquinação para peças com geometrias complexas e que apresentem requisitos complexos ao nível das tolerâncias, tanto dimensionais como geométricas. Para que a sua realização fosse possível, foi necessário recorrer a desenhos de uma peça que preenchesse as características requeridas, os quais foram fornecidos por uma empresa industrial com produção em grandes séries.

A peça analisada tem duas fases de maquinação, sendo a primeira denominada de “Fase de Pré-maquinação” e a segunda denominada de “Fase de Acabamento” onde as tolerâncias são mais exigentes. O estudo contemplou três fases principais: na primeira foram analisados, pormenorizadamente, os desenhos fornecidos; na segunda fase estabeleceu-se uma sequência de operações de modo a minimizar o número de apertos; por fim, na terceira fase, fez-se a escolha de possíveis ferramentas para cada umas das operações.

Finalmente, e como resultado de todo o processo, realizou-se um fluxograma que contempla as fases principais da metodologia, e três fluxogramas que explicam pormenorizadamente os passos efectuados até chegar ao plano final de maquinação.

O trabalho foi desenvolvido em articulação com a empresa, a qual validou a metodologia proposta.

Do trabalho realizado é possível concluir que a industrialização de uma peça é absolutamente dependente da análise correta das tolerâncias especificadas nos desenhos.

Palavras-chave: Tolerâncias de fabrico, planeamento de produção, análise de desenhos

ABSTRACT

The aim of the present thesis is the development of a methodology to facilitate the creation of plans of machining of parts having tight tolerances.

This study is created due to the difficulty that represents the creation of machining plans of parts with complex geometries as well as complex requirements regarding tolerances, both dimensional and geometric. In order to achieve the results, it was necessary to use drawings from a part fulfilling the required characteristics. Those drawings have been provided by an industrial company with production in large scale.

The analyzed part has two machining stages, being the first one called “pre-machining stage” and the second one “finishing stage” in which the tolerances are more demanding. The study had three main stages: in the first one there was a detailed analyzes of the drawings; in the second one it had been established the sequence of operations in order to minimize the number of clampings; in the third and final one, the selection of possible tools for each operation has been done.

Finally, and has a result of the whole process, it has been drawn a flowchart showing the main stages of the methodology, and three flowcharts explaining in detail all steps performed to reach the final machining plan.

This study has been developed in collaboration with the company, which had validated the proposed methodology.

As a conclusion, the industrialization of a part is absolutely dependent on the correct analysis of the tolerances specified in the drawings.

Keywords: Manufacturing tolerances, production planning, drawings Analysis

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJECTIVOS	1
1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2 ASPECTOS A CONSIDERAR NUM PLANEAMENTO DE MAQUINAÇÃO	3
2.1 MATERIAL A MAQUINAR.....	3
2.2 PLANO DE PROCESSO.....	4
2.3 TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS	7
2.3.1 <i>Referências (datums) e Sistemas de Referência em Peças Mecânicas</i>	9
3 METODOLOGIA.....	13
3.1 INTRODUÇÃO.....	13
3.2 FLUXO PRINCIPAL	13
3.3 FLUXO RELATIVO À ANÁLISE DOS DESENHOS	13
3.4 FLUXO RELATIVO À SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES	14
3.5 FLUXO RELATIVO À ESCOLHA DE FERRAMENTAS.....	14
4 ANÁLISE DOS DESENHOS.....	19
4.1 ANÁLISE DOS DESENHOS RELATIVOS À PEÇA PRÉ-MAQUINADA.....	19
4.2 ANÁLISE DOS DESENHOS RELATIVOS À PEÇA FINAL	31
5 SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES	39
5.1 MÁQUINAS-FERRAMENTA	48
5.1.1 <i>Mazak Integex i-200</i>	49
5.1.2 <i>Kern Micro</i>	49

6	SEQUÊNCIA DE MAQUINAÇÃO	51
6.1	FASE DE PRÉ-MAQUINAÇÃO	51
6.1.1	<i>Operações a Realizar no Primeiro Aperto</i>	52
6.1.1.1	1ª Operação – Definição da Face D (Operação 1 da <i>DSM</i>)	52
6.1.1.2	2ª e 3ª Operação - Perfilamento que Define as Referências E e H (Operação 2 e 3 da <i>DSM</i>)	52
6.1.1.3	4ª e 5ª Operação – Furo com Diâmetro 2.2mm e 1mm (Operação 9 e 10 da <i>DSM</i>)	53
6.1.2	<i>Operações a Realizar no Segundo Aperto</i>	54
6.1.2.1	6ª e 7ª Operação – Definição da Referência G e do Diâmetro de 54.5mm (Operação 12 e 11 da <i>DSM</i>)	54
6.1.2.2	8ª Operação - Definição dos Raios de 0.2mm e 0.4mm	55
6.1.2.3	9ª Operação – Realização do Canal com 3mm de Espessura e Definição do Diâmetro de 51.3mm (Operação 4 da <i>DSM</i>)	56
6.1.2.4	10ª Operação – Definição do Diâmetro de 48.8mm	56
6.1.3	<i>Operações Realizadas no Terceiro Aperto</i>	57
6.1.3.1	11ª Operação – Furos com 2.8mm de Diâmetro (Operação 7 da <i>DSM</i>)	57
6.1.3.2	12ª Operação – Boleado com Raio de 0.5mm e Chanfros Referentes aos Furos com 2.8mm de Diâmetro	58
6.1.3.3	13ª Operação – Furo com Diâmetro de 4.4mm (Operação 8 da <i>DSM</i>)	60
6.1.3.4	14ª Operação – Chanfro a 45° Relativo ao Furo com 4.4mm de Diâmetro	61
6.1.3.5	15ª Operação – Canais em Torno dos Três Furos	61
6.1.3.6	16ª e 17ª Operação – Furos com Diâmetro de 2.5mm (Operação 13 e 15)	62
6.1.3.7	18ª Operação – Pré-furo de 4.2mm	63
6.1.3.8	19ª Operação – Rosqueamento de Furo M5 (Operação 14 da <i>DSM</i>)	63
6.1.3.9	20ª Operação – Chanfro de 45°	64
6.1.3.10	21ª Operação – Execução dos Escateis	64
6.1.3.11	22ª Operação – Fresagem para Facilitar a Realização do Furo com Diâmetro de 3mm	65
6.1.3.12	23ª e 24ª Operações – Furo com Diâmetro 3mm (Operação 5 da <i>DSM</i>) e Furos com Diâmetro 5mm (Operação 6 da <i>DSM</i>) Respectivamente	65
6.1.3.13	25ª Operação – Chanfro a 45° Relativo aos Furos com Diâmetro 5mm	66
6.2	FASE DE ACABAMENTO	68
6.2.1	<i>Operações a Realizar no Primeiro Aperto</i>	69
6.2.1.1	1ª Operação – Furo com 1.8mm de Diâmetro (Operação 19 da <i>DSM</i>)	69
6.2.1.2	2ª e 3ª Operação – Furos com 3mm de Diâmetro (Operação 20 e 21 da <i>DSM</i>)	69
6.2.1.3	4ª e 5ª Operação – Chanfros a 30° nos Furos com Diâmetro de 3mm	70
6.2.1.4	6ª Operação – Facejamento que Define o Plano Indicado pela Referência L (Operação 24 da <i>DSM</i>)	70
6.2.1.5	7ª Operação – Definição do Perfil do <i>Scroll</i> (Operações 17, 18, 22 e 23 da <i>DSM</i>)	71
6.2.1.6	8ª Operação – Definição da Base do <i>Scroll</i> (Operação 23 da <i>DSM</i>)	72

7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
	ANEXOS	78
	ANEXO 1 - VALORES DOS GRAUS IT DAS TOLERÂNCIAS NORMALIZADAS (SEGUNDO NP-189:1962(1ª EDIÇÃO)	78
	ANEXO 2 – VALORES DOS DESVIOS DE REFERÊNCIA DE VEIOS (SEGUNDO NP-189:1962(1ª EDIÇÃO)	79
	ANEXO 3 – VALORES DOS DESVIOS DE REFERÊNCIA DE FUROS (SEGUNDO NP-189:1962(1ª EDIÇÃO)	80
	ANEXO 4 – SOBRE-ESPESSURA DE FUNDIÇÃO[8]	81
	ANEXO 5 – RUGOSIDADES, DESVIOS DIMENSIONAIS E GEOMÉTRICOS OBTIDOS EM DIFERENTES PROCESSOS TECNOLÓGICOS[9]	82
	ANEXO 6 – INFORMAÇÃO RELATIVA À NORMA DIN 13 [10].....	83

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 – PROPRIEDADES DO FERRO FUNDIDO[2]	4
TABELA 2.2 – SÍMBOLOS PARA AS TOLERÂNCIAS	9
TABELA 2.3 – SÍMBOLOS ADICIONAIS	9
TABELA 4.1 – SÍNTESE DAS TOLERÂNCIAS MAIS RELEVANTES APRESENTADAS NA FIGURA 4.2	22
TABELA 4.2 – SÍNTESE DAS TOLERÂNCIAS MAIS RELEVANTES APRESENTADAS NA FIGURA 4.3	23
TABELA 4.3 – VERIFICAÇÃO DOS TRÊS FUROS TOLERANCIADOS NA FIGURA 4.7	27
TABELA 4.4 – VERIFICAÇÃO PARA OS DOIS FUROS COM DIÂMETRO 2.5mm	28
TABELA 4.5 – SÍNTESE DAS TOLERÂNCIAS MAIS RELEVANTES DA SECÇÃO H	29
TABELA 4.6 – VERIFICAÇÃO PARA O FURO DE DIÂMETRO 2.2mm E 1mm	30
TABELA 4.7 – SÍNTESE DAS TOLERÂNCIAS MAIS RELEVANTES DA VISTA DE BAIXO	30
TABELA 4.8 – SÍNTESE DAS TOLERÂNCIAS MAIS RELEVANTES DA SECÇÃO H	35
TABELA 4.9 – VERIFICAÇÃO DAS COTAS ASSINALADAS NA FIGURA 4.13	36
TABELA 5.1 – LISTA DE OPERAÇÕES	40
TABELA 5.2 – DSM TOTAL, COM PRÉ-MAQUINAÇÃO E MAQUINAÇÃO DA PEÇA FINAL	43
TABELA 5.3 – MATRIZ DSM TOTAL REORGANIZADA	44
TABELA 5.4 – MATRIZ DSM PARA A PEÇA PRÉ-MAQUINADA	46
TABELA 5.5 – MATRIZ DSM ORGANIZADA SEGUNDO A SEQUÊNCIA DE APERTOS	47
TABELA 5.6 – MATRIZ DSM PARA A PEÇA FINAL	48
TABELA 6.1 – LISTA DE FERRAMENTAS PARA CADA OPERAÇÃO REFERENTE À FASE DE PRÉ-MQUINAÇÃO	67
TABELA 6.2 – PARÂMETROS DE CORTE RECOMENDADOS PARA A FASE DE PRÉ-MAQUINAÇÃO	68
TABELA 6.3 – LISTA DE FERRAMENTAS PARA CADA OPERAÇÃO REFERENTE À FASE DE ACABAMENTO	73
TABELA 6.4 – PARÂMETROS DE CORTE RECOMENDADOS PARA A FASE DE ACABAMENTO	73

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – HIERARQUIA DO PLANO DE PROCESSO	5
FIGURA 2.2 – PLANEADOR DE PROCESSO.....	6
FIGURA 2.3 – TIPOS DE INDICAÇÕES DE REFERÊNCIAS	10
FIGURA 2.4 - TIPOS DE INDICAÇÕES DE REFERÊNCIAS.....	10
FIGURA 2.5 – ESTABELECIMENTO DE REFERÊNCIAS	11
FIGURA 2.6 – REFERÊNCIA ESTABELECIDADA PELO EIXO COMUM A A E A B	11
FIGURA 2.7 – SEQUÊNCIAS DE INDICAÇÃO DE REFERÊNCIAS	11
FIGURA 2.8 – IMPORTÂNCIA DA SEQUÊNCIA DE INDICAÇÃO DAS REFERÊNCIAS[7]	12
FIGURA 3.1 – FLUXOGRAMA PRINCIPAL.....	15
FIGURA 3.2 – FLUXOGRAMA RELATIVO À ANÁLISE DOS DESENHOS	16
FIGURA 3.3 – FLUXOGRAMA RELATIVO À SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES.....	17
FIGURA 3.4 – FLUXOGRAMA RELATIVO À ESCOLHA DE FERRAMENTAS.....	18
FIGURA 4.1 – PLANTA DA PEÇA.....	19
FIGURA 4.2 – SECÇÃO D	20
FIGURA 4.3 – SECÇÃO E.....	22
FIGURA 4.4 – SECÇÃO G.....	24
FIGURA 4.5 – SECÇÃO F E I	24
FIGURA 4.6 – VISTA B.....	25
FIGURA 4.7 – SECÇÃO C.....	26
FIGURA 4.8 – SECÇÃO H	28
FIGURA 4.9 – VISTA POR DE BAIXO	29
FIGURA 4.10 – VISTA POR DE BAIXO	31
FIGURA 4.11 – SECÇÃO B.....	32
FIGURA 4.12 – SECÇÃO E.....	32
FIGURA 4.13 – SECÇÃO A.....	34
FIGURA 4.14 – SECÇÃO C.....	37
FIGURA 5.1 - FLUXOGRAMA DAS OPERAÇÕES A REALIZAR	41
FIGURA 5.2 – FLUXOGRAMA DA SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES DA PEÇA PRÉ-MAQUINADA	45
FIGURA 5.3 – FLUXOGRAMA DA SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES DA PEÇA FINAL	48
FIGURA 6.1 – DEFINIÇÃO DO LADO A E B	51
FIGURA 6.2 – PASTILHA E SUPORTE ESCOLHIDOS PARA A OPERAÇÃO DE FACEJAMENTO	52
FIGURA 6.3 – PASTILHA E SUPORTE ESCOLHIDOS PARA A REALIZAÇÃO DO PERFILAMENTO	53
FIGURA 6.4 – BROCAS ESCOLHIDAS PARA A REALIZAÇÃO DOS DUROS DE DIÂMETRO 2.2mm E 1mm.....	54
FIGURA 6.5 – PERFILAMENTO A REALIZAR NAS OPERAÇÕES 6 E 7	55
FIGURA 6.6 - PASTILHA E SUPORTE ESCOLHIDOS PARA A REALIZAÇÃO DOS RAIOS DE 0.2mm E 0.4mm	55

FIGURA 6.7 – (A) CANAL; (B) GEOMETRIA DA PASTILHA ESPECIAL	56
FIGURA 6.8 - PASTILHA E SUPORTE ESCOLHIDOS PARA A DEFINIÇÃO DO DIÂMETRO DE 48.8mm	57
FIGURA 6.9 – BROCA E SUPORTE ESCOLHIDOS PARA OS FUROS DE 2.8mm.....	58
FIGURA 6.10 – PORMENOR RELATIVO AO BOLEADO DE 0.5MM.....	59
FIGURA 6.11 – (A) – EXEMPLO DE FERRAMENTA ESPECIAL PARA REALIZAR O FURO, O BOLEADO E O CHANFRO EM SIMULTÂNEO; (B) – FERRAMENTA PARA REALIZAÇÃO DO BOLEADO POSTERIORMENTE AO FURO	60
FIGURA 6.12 – BROCA E SUPORTES ESCOLHIDOS PARA A REALIZAÇÃO DO FURO DE 4.4mm DE DIÂMETRO	61
FIGURA 6.13 – PORMENOR DO CHANFRO A 45°	61
FIGURA 6.14 – FRESA ESCOLHIDA PARA REALIZAÇÃO DOS CANAIS EM TORNO DOS FUROS	62
FIGURA 6.15 – BROCA E SUPORTE ESCOLHIDO PARA REALIZAR OS FUROS DE 2.5mm DE DIÂMETRO	63
FIGURA 6.16 – ESCOLHA DO MACHO E RESPECTIVO SUPORTE PARA OS FUROS M5	64
FIGURA 6.17 – FRESA E RESPECTIVO SUPORTE PARA A REALIZAR OS CHANFROS DO FUROS DE 2.5mm DE DIÂMETRO	64
FIGURA 6.18 – FRESA E SUPORTE ESCOLHIDOS PARA REALIZAÇÃO DOS ESCATEIS	65
FIGURA 6.19 – ESCOLHA DE BROCAS E SUPORTE PARA OS FUROS DE DIÂMETRO 3mm E 5mm	66
FIGURA 6.20 – PORMENOR RELATIVO AOS CHANFROS DOS FUROS DE DIÂMETRO 5mm	66
FIGURA 6.21 – FERRAMENTA ESCOLHIDA PARA A REALIZAÇÃO DO FURO COM 1.8mm DE DIÂMETRO	69
FIGURA 6.22 – GEOMETRIA DA FRESA	71
FIGURA 6.23 – TRAJETO REALIZADO PELA FRESA.....	72

1 INTRODUÇÃO

A presente Dissertação foi desenvolvida em parceria com a empresa *Halla Visteon Climate Control* (HVCC), situada em Palmela. Trata-se de um dos principais fornecedores da indústria automóvel na sua área de atuação. A empresa produz, em grande escala, compressores de ar condicionado, entre outros componentes, para a indústria automóvel, obedecendo a requisitos de elevada exigência, principalmente no que às tolerâncias diz respeito. A presente dissertação tem uma estreita ligação com a dissertação cujo o título é “Contributo metodológico para a definição da sequência de maquinação baseada em tolerâncias” realizada por Nuno Palma. O trabalho inerente a estas dissertações foi desenvolvido em articulação com a empresa industrial com vista ao estudo de industrialização e à elaboração de uma metodologia que possa futuramente vir a ser usada no planeamento de trabalhos para maquinação. As duas dissertações fazem a abordagem de peças diferentes do mesmo sistema mecânico, com o objetivo de encontrar uma metodologia que possa ser comum.

1.1 Objectivos

A elaboração de planos de maquinação com base nas tolerâncias é, na indústria, um ponto que por vezes não é abordado com a devida importância, e como consequência disso em muitos casos existe um dispêndio de dinheiro, resultante do método de tentativa e erro. A realização de planeamentos de processo específicos para uma determinada peça evita este dispêndio e ainda permite melhorar significativamente a qualidade dos componentes produzidos. Esta melhoria só é possível porque é realizado um estudo detalhado de cada uma das operações e consequentemente é escolhido o tipo de processo que melhor se enquadra nesta operação bem como as ferramentas que possuam características capazes de cumprir as tolerâncias exigidas.

Tendo em conta o referido anteriormente, a presente dissertação tem como objetivos:

- Criar uma sequência que contemple condições favoráveis ao cumprimento das tolerâncias de fabrico e que sejam aceites pela engenharia da empresa onde este caso foi objeto de estudo;
- Elaborar de uma metodologia onde as tolerâncias sejam um factor determinante.

1.2 Organização da Dissertação

A presente dissertação está dividida em sete capítulos, que se subdividem em todas as áreas temáticas necessárias para a realização do estudo.

O primeiro capítulo aborda a introdução, onde são apresentados os objetivos a alcançar ao longo deste trabalho e a organização da dissertação.

O segundo capítulo debruça-se sobre conceitos essenciais para a realização do plano de maquinação, e está dividido em quatro subcapítulos: o primeiro subcapítulo é relativo ao material a maquinar; no segundo faz-se referência à forma de elaborar um planeamento de processo e aos principais intervenientes envolvidos; no terceiro subcapítulo são apresentadas as características das máquinas-ferramenta utilizadas; e no quarto faz-se um enquadramento na área das tolerâncias.

No terceiro capítulo aborda-se a metodologia seguida durante este projeto, dividida em quatro fluxogramas. Um fluxograma geral, que compreende as quatro fases e três fluxogramas que contêm a explicação detalhada de três das quatro fases.

No quarto capítulo, é apresentada a análise pormenorizada de todas as tolerâncias e detalhes críticos dos desenhos. Este capítulo contém dois subcapítulos, um relativo à “Fase de Pré-maquinação” e outro relativo à “Fase de Acabamento”.

No quinto capítulo apresenta-se a metodologia utilizada para que a sequência de operações contemple o número mínimo de apertos.

No sexto capítulo realiza-se a escolha de ferramentas respeitando uma sequência de maquinação. Este capítulo tal como o quarto está dividido em “Fase de Pré-maquinação” e “Fase de Acabamento”, sendo que dentro de cada um deles há um subcapítulo para cada aperto o qual contém todas as operações realizadas nesse mesmo aperto.

No sétimo capítulo, evidenciam-se as conclusões obtidas e possíveis trabalhos futuros.

2 ASPECTOS A CONSIDERAR NUM PLANEAMENTO DE MAQUINAÇÃO

2.1 Material a Maquinar

O material a maquinar durante o processo é ferro fundido.

O ferro fundido é uma liga de ferro em mistura eutética com elementos à base de carbono e silício, formando uma liga metálica de ferro, carbono (entre 2,11 e 6,67%), silício (entre 1% e 3%), podendo conter outros elementos químicos.

Os ferros fundidos dividem-se em três tipos principais: branco, cinzento e nodular. O tipo utilizado neste projeto é o ferro fundido cinzento que é o mais comum devido às suas características como: baixo custo; elevada maquinabilidade; alta fluidez na fundição, permitindo a fundição de peças com paredes finas e complexas; e facilidade de fabricação, já que não exige equipamentos complexos para o controlo de fusão e solidificação.

Este material é utilizado em larga escala pela indústria de máquinas e equipamento, bem como na indústria automobilística, ferroviária, naval entre outras. A presença de grafite na sua microestrutura proporciona diversas características que tornam o ferro fundido quase insubstituível na fabricação de carcaças de motores e bases de equipamentos, sendo que das principais características que a grafite proporciona ao ferro fundido são: a sua capacidade de absorção de vibrações, uma melhor estabilidade dimensional e a maquinabilidade como já foi referido anteriormente.

Existem diversas classes de ferro fundido cinzento, com diferentes tipos, tamanhos e quantidades de grafite e diferentes tipos de matriz metálica (variações nos teores de perlite e cementite)[1].

Na Tabela 2.1 estão representadas as propriedades físicas, mecânicas e a composição química do ferro fundido.

Tabela 2.1 –Propriedades do ferro fundido[2]

Propriedades Físicas	
Densidade	7.15 g/cc
Propriedades Mecânicas	
Tensão de rotura	≥ 276 MPa
Dureza Brinell	183-234
Composição Química (%)	
Carbono (C)	3.25-3.5
Silício (Si)	1.8-2.3
Manganésio (Mn)	0.5-0.9

2.2 Plano de Processo

Existem muitas situações em que o trabalho realizado tem como finalidade transformar a descrição de um produto num plano para poder fazê-lo, contudo este plano será afectado por uma vasta gama de condições (técnicas, estratégicas e pessoais). Este trabalho considera todos estes aspectos e define a melhor maneira para fabricar um certo produto sob determinadas circunstâncias, é então denominado de planeamento do processo. A Figura 2.1 mostra as atividades do planeamento de processo e os seus resultados classificados em diferentes níveis de detalhe. Esta descrição tem como objetivo fazer a interação entre a visão geral das atividades e o domínio do planeamento de processo.

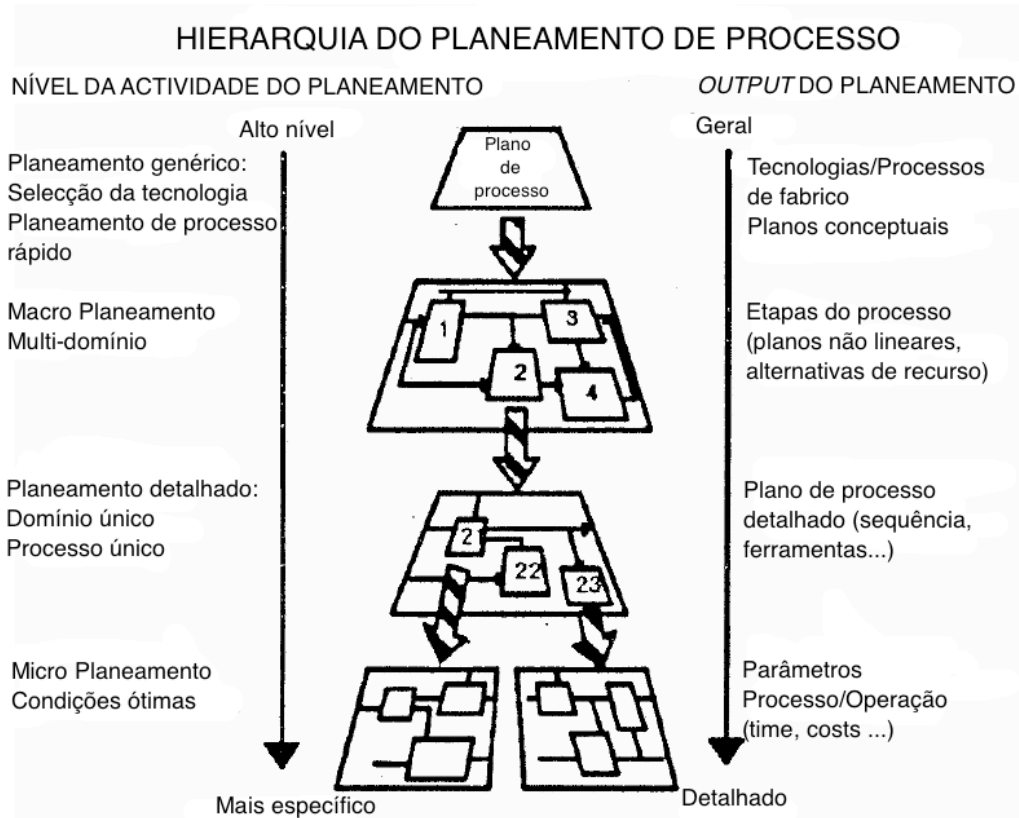


Figura 2.1 – Hierarquia do plano de processo

O contexto técnico, em que o planeador de processo tem um papel ativo, pode ser ilustrado e está representado na Figura 2.2. No lado esquerdo da imagem surgem três áreas de interesse, que simbolizam a esfera de atividade do planeador de processo, estas servem como colaboradores durante o desenvolvimento dos novos planos de processo e na revisão dos planos de processo já existentes. O planeador de processo necessita de inserir *inputs* em cada uma das três áreas e ir reformulando os aspectos do planeamento de processo de forma iterativa.

- Em primeiro lugar, surge o desenho 2D que representa as especificações de projeto
- No meio, a representação do meio de trabalho com a máquina-ferramenta e a pessoa que simboliza a avaliação dos recursos de fabrico, capacidade e competência
- Por último, o mapa ilustra que as soluções de produção podem vir a ser desenvolvidas numa abordagem de globalização

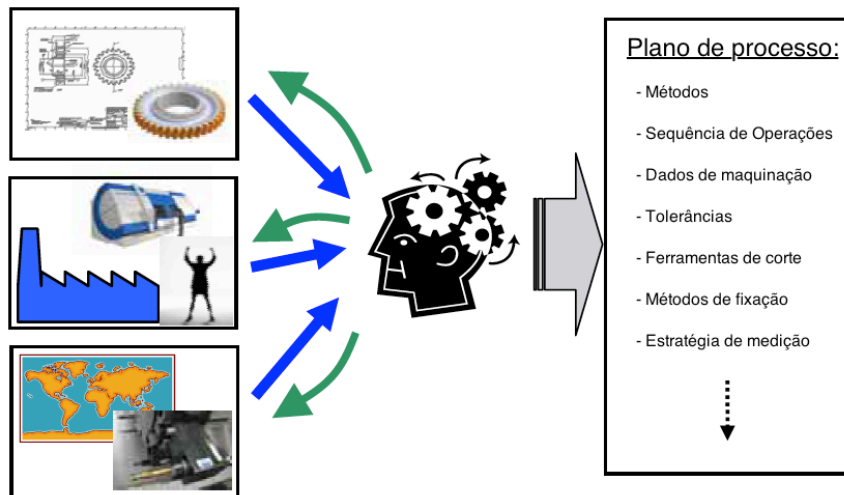


Figura 2.2 – Planeador de processo

Sempre que existe um produto novo, ou se pensa num novo produto, inicia-se um trabalho com o objetivo de criar um plano de processo. Isto está representado na Figura 2.2, onde surge uma seta que aponta do desenvolvimento do produto para o planeador do processo.

O planeador de processo interpreta os requisitos de projeto e investiga se é possível produzir o produto com os recursos disponíveis. Nesta fase do projeto existem muitas perguntas que têm que ser respondidas, o que implica diferentes tipos de investigação.

Pode ser necessário fazer mudanças de modo a melhorar o projeto ou o método de fabrico, em muitos casos ambos. Isto resulta no *feedback* do planeador para o desenvolvimento do produto e para a sua fabricação. Por vezes também é necessário introduzir novas soluções de fabrico ou métodos para alcançar uma melhor qualidade, eficiência ou uma nova gama de produtos, o que leva a uma interação entre o planeador de processo e os fornecedores.

A missão para o planeador de processo, e em geral a meta para o trabalho de planeamento de processo industrial, é transformar os requisitos de projeto de um determinado produto numa definição de processo adequado para a sua realização.

A ‘qualidade certa’ está relacionada principalmente com a procura dos clientes, mas tem que ser transformada, definida e decidida através das tolerâncias na parte dos desenhos e dos requisitos para a parte do processo de fabrico. Numa fase mais avançada do projeto, a ‘qualidade certa’ ou simplesmente a qualidade, corresponde basicamente a todos os requisitos que são apresentados nos desenhos, nas folhas de dados, nos modelos e em outros documentos que definam o produto final.

Dependendo do tipo de produtos que a empresa tem e comercializa, o trabalho de planeamento de processo pode ser realizado de diferentes formas. Comparando uma empresa que faz pequenos lotes de diferentes produtos com outra empresa que faz grandes lotes de poucos produtos, verifica-se que existe uma grande diferença no planeamento de processo.

Na fábrica da empresa que produz poucos produtos mas em grandes quantidades, existe uma quantidade limitada de máquinas-ferramenta, onde cada uma delas é direcionada para um tipo de operações específico. As limitações dos recursos disponíveis e as características dos produtos permitem ao planeador de processo padronizar, simplificar e racionalizar o seu trabalho de uma maneira diferente em relação à produção diversificada em equipamentos altamente flexíveis.

Basicamente, não devem existir diferenças em como apresentar um novo produto para produção. Os princípios são os mesmos contudo existem muitas maneiras de organizar o trabalho em termos de orientações, soluções e estratégias.

Em todos os casos, e como primeiro passo, deve haver uma investigação e uma análise técnica, para que mais tarde possa ser utilizada como:

- *Feedback* ao projetista
- *Feedback* ao departamento de maquinaria
- *Feedback* ao vendedor das máquinas-ferramenta
- Mais valia para a realização: de plano de processo simples; um plano de processo genérico; ou um método sistemático para planeamento de processos.[4]

2.3 Tolerâncias Geométricas

O toleranciamento geométrico é um meio de especificar funções duma peça, ou de partes da mesma, e inter-relações entre partes duma peça, ou de peças dum conjunto mecânico. Além disso é uma técnica que, adequadamente aplicada, conduz à forma mais económica e eficaz de produção e de inspeção da peça.

As tolerâncias dimensionais não permitem a transmissão de toda a informação da funcionalidade dos sistemas mecânicos, nem permitem contemplar determinados erros de fabrico. As tolerâncias geométricas vêm colmatar a falta de informação e a ambiguidade deixada pelas tolerâncias dimensionais que se revelam, tanto na especificação do projeto, como durante a produção - particularmente na montagem de peças - e a inspeção. As tolerâncias geométricas, em particular as tolerâncias de posição pressupõem o estabelecimento de elementos de referência, o que permitem incluir informação adicional sobre a funcionalidade e, consequente-

mente, determinar a sequência de fabrico, nomeadamente no que concerne aos apertos da peça para maquinação, assim como definir os pontos de apoio da componente para a respectiva inspeção. As condições de material, nomeadamente, Condição de Máximo Material e Condição de Mínimo Material, consagradas nas tolerâncias geométricas permitem definir as situações extremas para a garantia da funcionalidade. Este facto, que se revela de enorme utilidade, particularmente em situações de produção em massa, permite, por um lado, o chamado bônus de tolerância dimensional e, conseqüentemente a redução de custos de produção, assim como o aproveitamento de componentes sem o qual seriam rejeitados; por outro lado, a possibilidade de serem criados calibres funcionais, cuja utilização reduz o tempo e o custo de inspeção.

As tolerâncias geométricas constituem de facto na indústria mecânica uma efetiva linguagem ou ferramenta de projeto, de produção e da qualidade e, portanto, são um suporte de informação integrador das atividades ao longo do ciclo de desenvolvimento dum produto e o modo através do qual pode prover vantagens técnicas e económicas.

A tolerância geométrica aplicada a uma característica define a zona de tolerância na qual a característica (superfície, eixo ou plano médio) deve estar contida. A zona de tolerância é uma das seguintes:

- a área dentro de um círculo;
- a área entre dois círculos concêntricos;
- a área entre duas linhas equidistantes;
- o espaço dentro de um cilindro;
- o espaço entre dois cilindros coaxiais;
- o espaço entre dois planos equidistantes;
- o espaço dentro de um paralelepípedo.

A Tabela 2.2 apresenta os símbolos das características toleranciadas e a Tabela 2.3 apresenta os símbolos adicionais que permitem ligar o símbolo de tolerância à característica a toleranciar e à referência, assim como, permitem a localização teoricamente exata e o estado de material.

Tabela 2.2-Símbolos para as tolerâncias

Tolerâncias			Símbolos
Tolerâncias isoladas	Tolerâncias de forma	Rectidão	—
		Planeza	▭
		Circularidade	○
		Cilindricidade	⌀
		Perfil de uma linha	⌒
		Perfil de uma superfície	⌒
Tolerâncias relacionadas	Tolerâncias de orientação	Paralelismo	//
		Perpendicularidade	⊥
		Inclinação	∠
	Tolerâncias de localização	Posição	⊕
		Concentricidade e coaxialidade	◎
		Simetria	≡
	Tolerâncias de movimento	Movimento circular	↻
		Movimento total	↻↻

Tabela 2.3 – Símbolos adicionais

Descrições		Símbolos
Indicações das características toleranciadas	directa	
	por letra	
Indicações das referência (<i>datums</i>)	directa	
	por letra	
Ponto(s) delimitado(s) de uma característica de referência (<i>datum target</i>)		
Dimensão teoricamente exacta		
Zona de tolerância projectada		
Condição de máximo material		

2.3.1 Referências (*datums*) e Sistemas de Referência em Peças Mecânicas

Uma adequada indicação das referências para as características geométricas é um factor que facilita a compreensão da funcionalidade da peça e, em consequência, permite um correto estabelecimento dos respectivos processos de fabrico, de montagem e de inspeção, em parti-

cular, na definição das fixações/apertos da peça e na sequência das operações. O sistema de referência de suporte às especificações geométricas é, portanto, um elemento fundamental na ligação das atividades realizadas ao longo do desenvolvimento de um produto, o que será posteriormente refletido no produto final

Quando se trata de uma tolerância relacionada há necessariamente uma referência e esta é geralmente definida por uma letra maiúscula (Figura 2.3 a) e b)). A referência é indicada distintamente por um triângulo a cheio ou só com o contorno.

O triângulo de referência com a respectiva letra é colocado:

- diretamente sobre a linha que representa a referência (uma linha ou uma superfície) ou numa sua extensão (Figura 2.3 c)).
- como uma extensão da linha de cota quando a referência é um eixo ou um plano médio definido pela referida linha de cota (Figura 2.4 a), Figura 2.4 b) e Figura 2.4 c)).
- diretamente sobre o eixo quando a referência é um eixo ou um plano médio de uma única característica geométrica, ou quando é um eixo ou um plano médio comum a várias características geométricas da peça (Figura 2.4 d)).

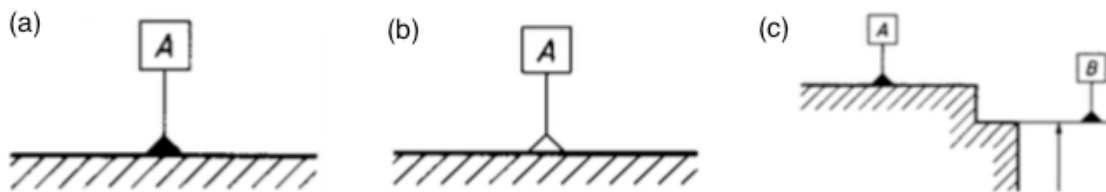


Figura 2.3 – Tipos de indicações de referências

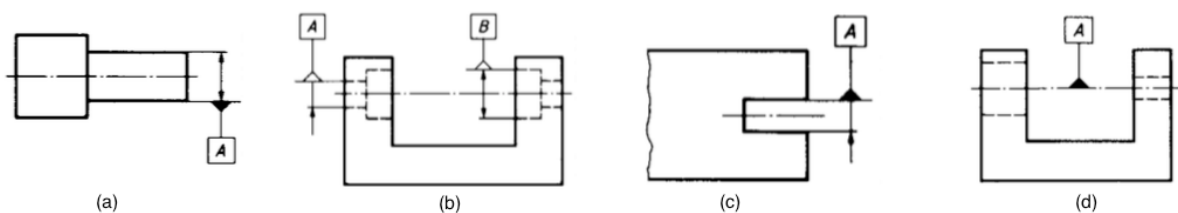


Figura 2.4 - Tipos de indicações de referências

Quando a referência é estabelecida por uma única característica, a referência é indicada por uma letra, no terceiro compartimento do quadro de representação da tolerância (Figura 2.5 a)). Quando a referência é estabelecida por duas características, a referência é indicada por duas letras separadas por um traço, no terceiro compartimento do quadro de representação

da tolerância (Figura 2.5 b)). Na Figura 2.6, a referência é estabelecida pelo eixo comum a A e a B.

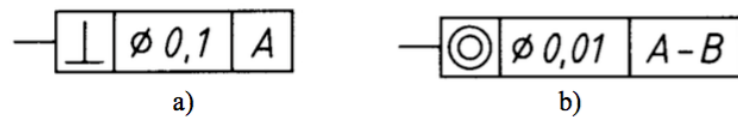


Figura 2.5 – Estabelecimento de referências

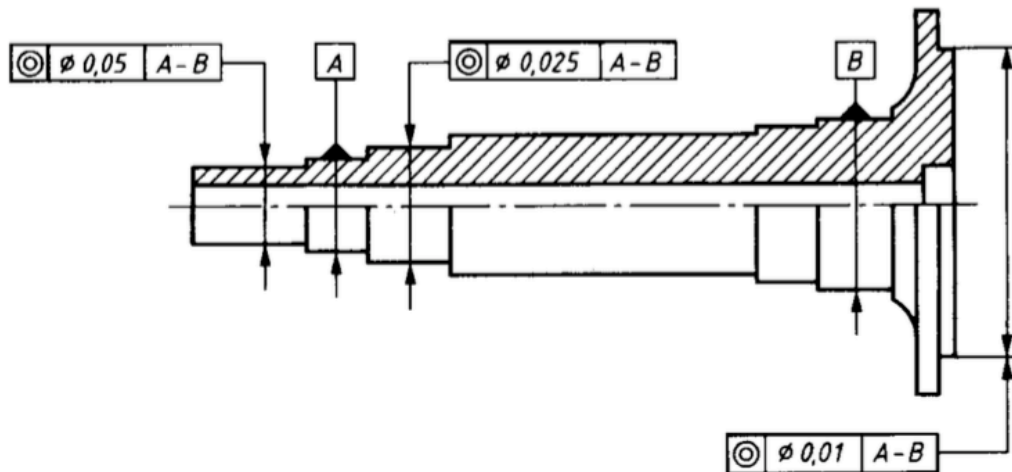


Figura 2.6 – Referência estabelecida pelo eixo comum a A e a B

Quando a referência é estabelecida por duas ou mais características, isto é, uma referência múltipla, as letras das referências são indicadas no terceiro e subsequentes compartimentos do quadro de representação da tolerância, de acordo com a sequência das referências (Figura 2.7 a)). Nestes casos, a sequência da indicação das referências é determinante no estabelecimento do sistema. Se a sequência das referências não é importante, as letras são indicadas no mesmo compartimento e a ordem é irrelevante (Figura 2.7 b)).

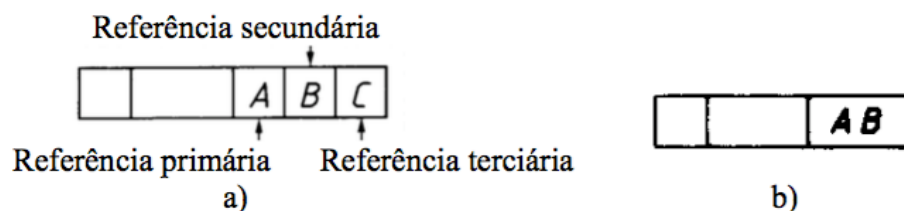


Figura 2.7 – Sequências de indicação de referências

A Figura 2.8 ilustra como a sequência de indicação das referências influencia o resultado obtido. Este aspecto é de crucial importância para a montagem de componentes.

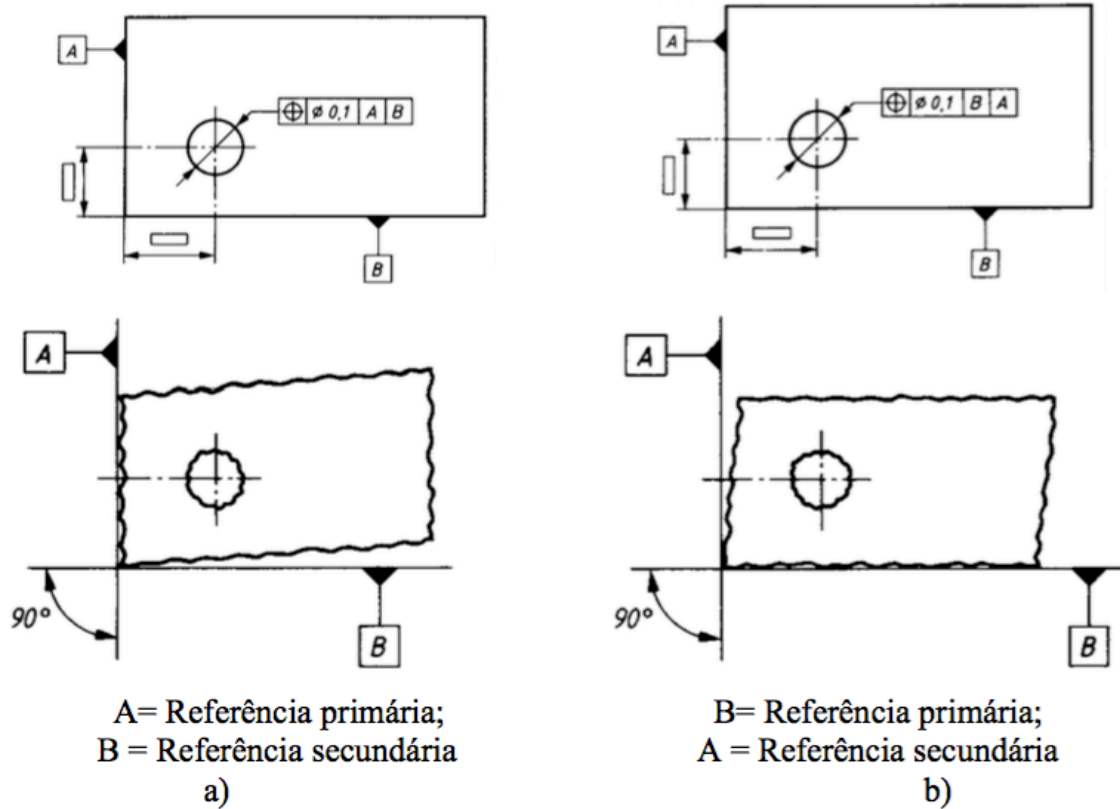


Figura 2.8 – Importância da sequência de indicação das referências[7]

3 METODOLOGIA

3.1 Introdução

A metodologia apresentada tem como objetivo principal a contribuição para a realização de planos de maquinação de peças complexas. Focando-se em determinados detalhes, que após uma análise minuciosa, podem contribuir para uma otimização da produtividade, diminuindo a taxa de peças que não cumprem os requisitos de projeto. Às questões relacionadas com as tolerâncias, número de apertos e sequências de maquinação foi dado um maior ênfase neste capítulo. Esta metodologia serve como critério determinante para o cumprimento das tolerâncias.

3.2 Fluxo Principal

Na Figura 3.1 está representado o fluxograma principal da metodologia, onde é possível verificar que este projeto contempla quatro fases. Uma fase inicial em que são definidos quais os objetivos a atingir - elaborar um plano de maquinação, a partir dos desenhos fornecidos, que cumpra todos os requisitos.

3.3 Fluxo Relativo à Análise dos Desenhos

Para que seja possível concretizar os objetivos propostos, são definidas mais três fases. Na segunda fase, representada detalhadamente na Figura 3.2, são analisados todos os desenhos pormenorizadamente. Começa-se pela análise geométrica e dimensional, onde é possível identificar operações de difícil execução, zonas que apresentam alguma fragilidade e que possam trazer complicações durante o processo de maquinação. Depois da identificação das dificuldades mencionadas, procura-se arranjar alternativas para a sua realização. Continuando na análise dos desenhos, são retiradas possíveis dúvidas com o proprietário de modo a esclarecer incoerências nos desenhos. Clarificadas estas dúvidas (caso existam), analisam-se todas as co-

tas presentes no desenho e simplificam-se cotas, caso seja possível. Durante a análise das cotas detecta-se se existem cotas críticas, e caso existam analisam-se as geometrias e define-se um possível processo de fabrico. Recorrendo à tabela presente no Anexo 5 verifica-se qual a possibilidade de realizar a operação com o processo idealizado.

3.4 Fluxo Relativo à Sequência de Operações

Numa terceira fase, representada em detalhe na Figura 3.3, é elaborada uma sequência de operações. Até chegar a uma sequência que consiga minimizar o número de apertos de modo a minimizar os desvios a isso associado, é necessário realizar várias etapas. Primeiro é necessário saber à posteriori se existem constrangimentos ao nível de máquinas-ferramenta. Inicialmente numeram-se todas as cotas que possuem quadro de tolerância, e paralelamente idealiza-se uma possível sequência de operações. Recorrendo à matriz *DSM* estabelece-se uma sequência de operações para que cada operação, aquando da sua realização já tenha todas as suas operações antecedentes realizadas, das quais ela tem dependência. Definida a sequência de operações através da matriz *DSM* é englobado nessa sequência as restantes operações que não tenham quadros de tolerância associados. Finalmente é estabelecida a sequência final de modo a minimizar o número de apertos, cumprindo sempre a ordem estabelecida pela *DSM*.

3.5 Fluxo Relativo à Escolha de Ferramentas

Na quarta e última fase, representada detalhadamente na Figura 3.4 procede-se à escolha das ferramentas para cada uma das operações. O primeiro aspecto a ter em consideração é o tipo de material a maquinar; posto isto identifica-se o tipo de processo a utilizar para a operação em questão; seguindo-se a escolha da ferramenta e consequente consulta de catálogos; escolhida a ferramenta é necessário verificar se esta cumpre as tolerâncias requeridas para a operação, caso cumpra escolhe-se o suporte, se não cumprir será necessário encontrar uma alternativa à escolhida e que cumpra os requisitos; por fim atribui-se os parâmetros de corte recomendados pelo fabricante. Nos casos em que é necessário a utilização de uma ferramenta especial, tem que se contactar fornecedores e verificar se é possível fabricar a ferramenta com a geometria desejada e que consiga garantir as tolerâncias exigidas. Obtendo a ferramenta especial será necessário, tal como para as ferramentas catalogadas, escolher um suporte e por fim definir os parâmetros de corte fornecidos pelo fabricante.

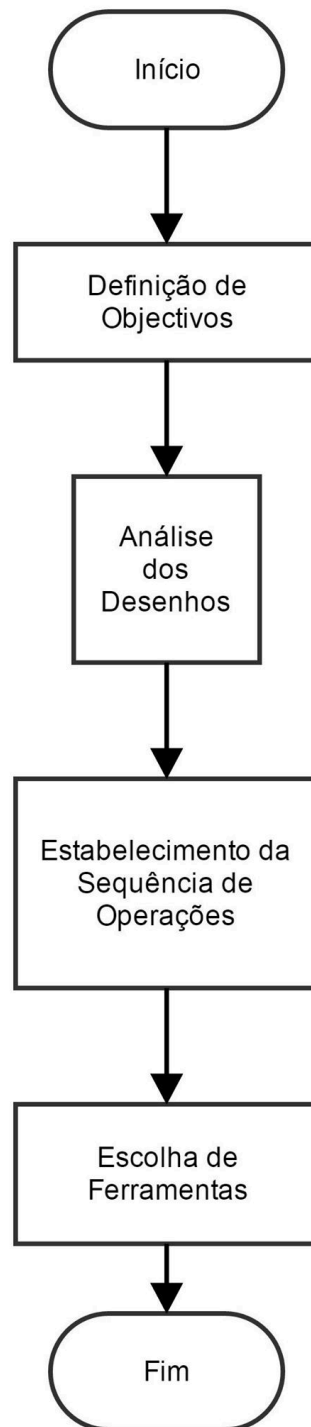


Figura 3.1 – Fluxograma principal

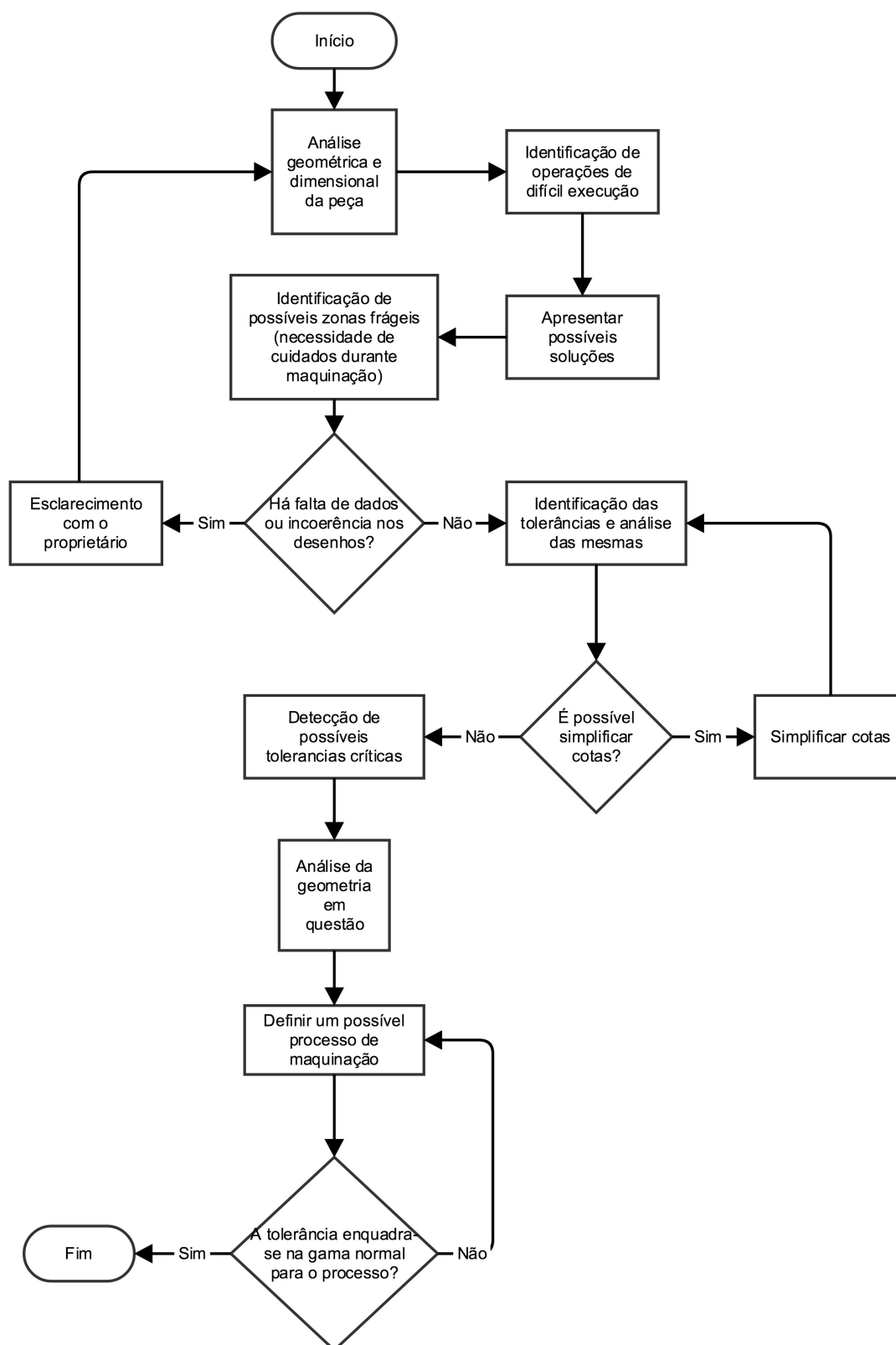


Figura 3.2 – Fluxograma relativo à análise dos desenhos

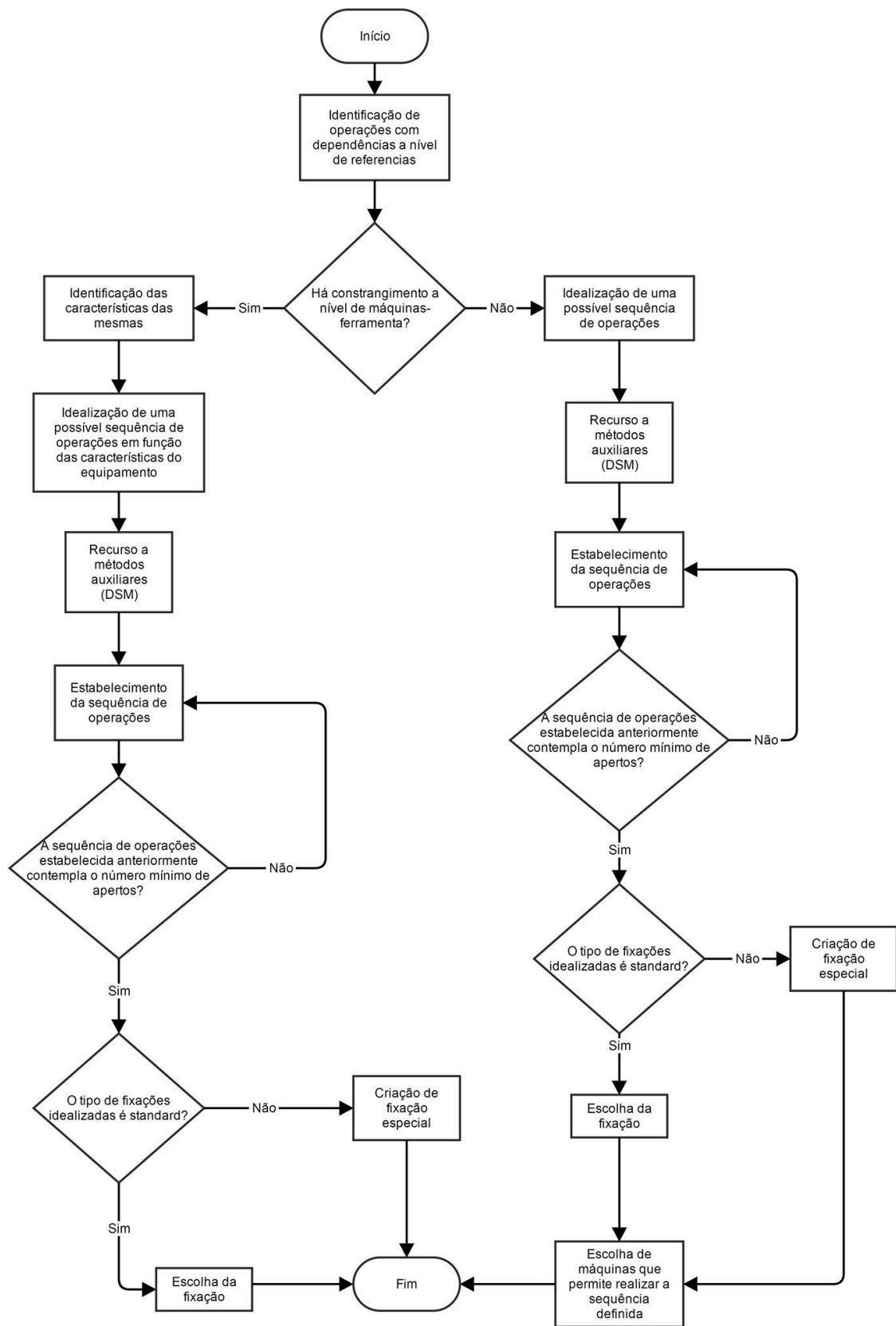


Figura 3.3 – Fluxograma relativo à sequência de operações

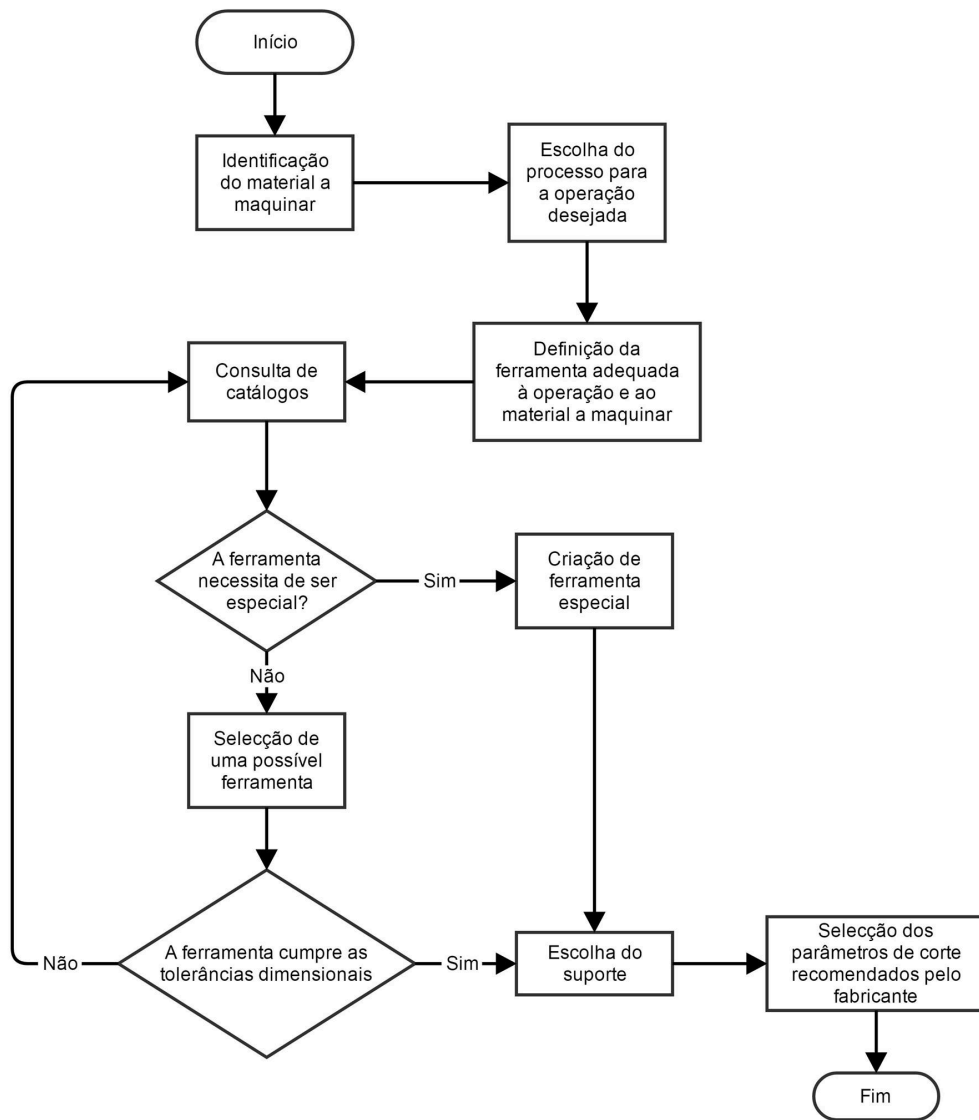


Figura 3.4 – Fluxograma relativo à escolha de ferramentas

4 ANÁLISE DOS DESENHOS

Na segunda etapa deste projeto far-se-á uma análise pormenorizada dos desenhos de fabrico, facultados pelo proprietário. Neste capítulo serão enumerados e explicados todos os detalhes dos desenhos, sendo o principal foco as tolerâncias que têm que ser cumpridas. Também se evidenciará aquelas que serão as maiores dificuldades. Para cada um dos requisitos serão explicados os pontos críticos na sua execução.

4.1 Análise dos Desenhos Relativos à Peça Pré-maquinada

Na Figura 4.1 está representada a planta da peça onde são visíveis algumas secções que irão ser analisadas mais pormenorizadamente.

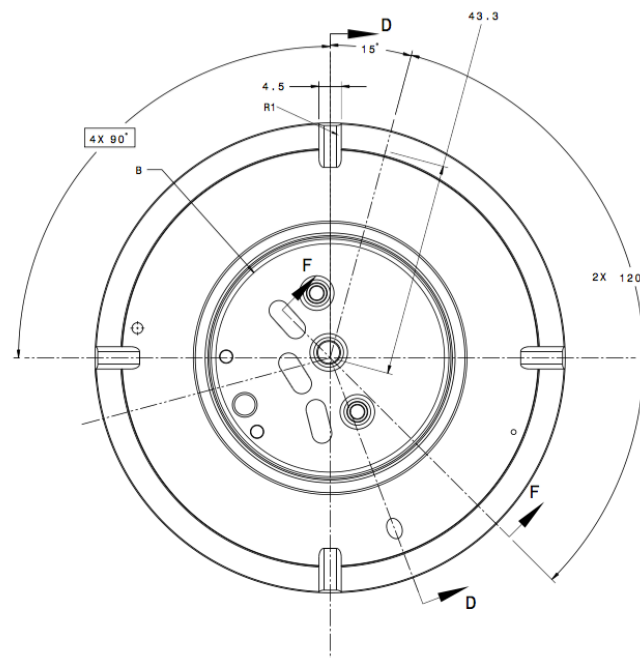


Figura 4.1 – Planta da peça

A primeira secção a analisar é a D (representada na Figura 4.2). Nesta secção estão presentes algumas das referências mais importantes na produção da peça, como por exemplo a referência D e E. Estas referências são de extrema importância devido à quantidade de operações que delas dependem.

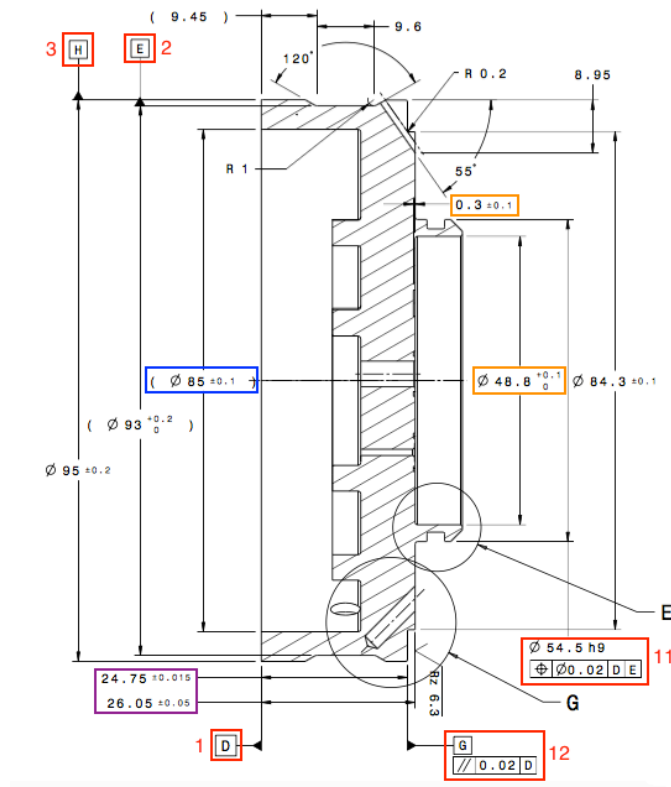


Figura 4.2 – Secção D

Nesta secção D existem alguns pormenores que requerem uma análise mais cuidada. Representado a vermelho estão as referências que necessitam de uma maior atenção na sua análise, contudo existem mais dados que necessitam de ser explicitados. As cotas que surgem dentro de parêntesis (representado na Figura 4.2 a azul), são dimensões auxiliares. Outro pormenor aqui representado é a rugosidade referente ao plano G. Este é um requisito de projeto que não vai ser abordado na presente dissertação, uma vez que a vertente da maquinação não vai ser estudada aprofundadamente.

De referir que existem cotas a satisfazer, representadas a cor-de-laranja na Figura 4.2, apesar de não terem uma importância tão relevante como as assinaladas a vermelho. Como exemplo disso surge a cota de $48.8^{+0.1}_{-0}$, que não tendo uma tolerância dimensional tão apertada como outras, e apesar de não necessitar nem originar nenhuma referência também tem que ser cumprida.

Representado a roxo estão duas cotas bipartidas¹. Utilizando o exemplo da cota 24.75 ± 0.015 , esta pode ser traduzida em $24.75^{+0.015}_{-0.015}$ e posteriormente, a partir da equação (1) conclui-se que a tolerância total é de $0.030mm$. Será através do cumprimento destas duas cotas bipartidas que se vai estabelecer a referência G.

$$Tol = DS - DI \quad (1)$$

A vermelho estão assinaladas as cotas mais importantes. Quatro destas cotas definem referências, as quais em operações a realizar posteriormente são imprescindíveis para que sejam cumpridos os requisitos de projeto. Nas cotas a vermelho observa-se uma tolerância dimensional, que é a cota relativa ao diâmetro e $54.5mm$, cota esta que apresenta uma tolerância $h9$ ². Esta tolerância representa um IT9 pelo que através do diâmetro ($54.5mm$) consultando a tabela do anexo 1, conclui-se que a tolerância correspondente é de $74\mu m$. Sabendo a tolerância total, e consultando a tabela de desvios de referência para veios (anexo 2) percebe-se que o desvio superior (ds) é igual a $0\mu m$. Utilizando a equação (1) obtém-se o desvio inferior (di) que é de $-74\mu m$. Outra forma para representar a tolerância seria $54.5^{+0}_{-0.074}mm$. Também associado a esta cota existe uma tolerância de posição que indica que: a peça apoiada segundo o plano D; e em seguida centrada na superfície cilíndrica E, o eixo do veio de diâmetro $54.5mm$ tem que estar contido numa forma cilíndrica de diâmetro $0.2mm$. Existe uma outra cota a analisar, a tolerância de paralelismo que define o plano que origina a referência G. Encostando a peça segundo o plano D, o plano G tem que estar compreendido entre dois planos afastados entre si de $0.02mm$, em que o plano médio está a uma distância de $24.75 \pm 0.015mm$. Na Tabela 4.1 encontra-se uma síntese das tolerâncias presentes na Figura 4.2.

¹ Cota bipartida – cota cujo o desvio superior e inferior são iguais relativamente à cota média

² Segundo a norma NP-189:1962, a letra que indica a classe de tolerância é minúscula quando a cota se refere a um veio e maiúscula

Tabela 4.1 – Síntese das tolerâncias mais relevantes apresentadas na Figura 4.2

Cota	Tipo de tolerância	Dificuldades aparentes	Como ultrapassar essas dificuldades	Possível processo de maquinação
$\varnothing 54.5 \text{ h9}$ $\oplus \varnothing 0.02 \text{ D E}$	Dimensional: $54.5^{+0}_{-0.074}$ Geométrica: eixo do veio contido numa forma cilíndrica com 0.02mm de diâmetro	Cumprir a tolerância de posição relativa ao plano D e ao eixo da superfície E	Maximizando o número de operações por aperto	Torneamento
G $\parallel 0.02 \text{ D}$	Geométrica: paralelismo de 0.02mm em relação ao plano D que define a referência G	Cumprir a tolerância de paralelismo em relação ao plano D	Maximizando o número de operações por aperto	Torneamento
$\varnothing 95 \pm 0.2$	Dimensional de $95^{+0.2}_{-0.2}$ que define a referência H (eixo da superfície cilíndrica)	Aparentemente não existem dificuldades, uma vez que a tolerância não é apertada		Torneamento
$(\varnothing 93^{+0.2}_0)$	Dimensional de $93^{+0.2}_0$ que define a referência E (eixo da superfície cilíndrica)	Aparentemente não existem dificuldades, uma vez que a tolerância não é apertada		Torneamento

Na Figura 4.2 pode-se observar a secção D, onde estão representadas as secções E e G. Inicialmente iremos estudar pormenorizadamente a secção E (ilustrada na Figura 4.3). A cota que neste caso requer uma maior análise trata-se do diâmetro de 51.3mm (representada com o número 4).

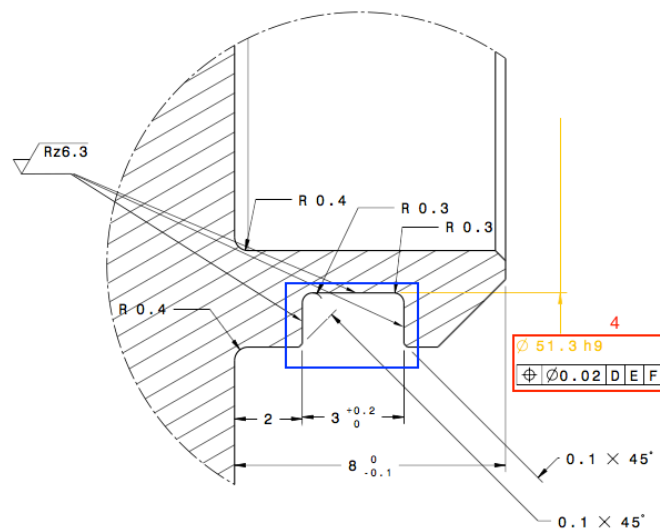
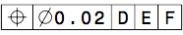
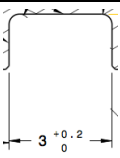


Figura 4.3 – Secção E

Esta cota tem associada uma tolerância h9, consultando as tabelas de referência, tal como realizado anteriormente, para a cota de 54.5mm (presente na Figura 4.2) pode-se traduzir esta cota em $52.3^{+0}_{-0.074}\text{mm}$. A esta cota está também associada uma tolerância de posição que indica que o eixo do veio tem que estar compreendido num cilindro de diâmetro 0.02mm . Cumprindo a ordem de encosto indicada no desenho: a peça primeiro terá de ser assente segundo o plano D; em seguida centrada segundo o eixo da superfície cilíndrica E; e finalmente proceder à sua rotação até que um batente toque no ponto F.

Na Figura 4.3 está assinalado um canal, o qual provavelmente será efectuado através de uma ferramenta especial, de modo a conseguir realizar também os raios de 0.3mm e os chanfros. Na Tabela 4.2, estão sintetizadas as tolerâncias presentes na secção E.

Tabela 4.2 - Síntese das tolerâncias mais relevantes apresentadas na Figura 4.3

Cota	Tipo de tolerância	Dificuldades aparentes	Como ultrapassar essas dificuldades	Possível processo de máquina
$\varnothing 51.3 \text{ h9}$ 	Dimensional: $51.3^{+0}_{-0.074}$ Geométrica: eixo do veio contido numa forma cilíndrica com 0.02mm de diâmetro.	Cumprir a tolerância de posição relativa ao plano D, ao eixo da superfície E e ao ponto F	Maximizando o número de operações por aperto	Torneamento
	Dimensional: $51.3^{+0}_{-0.074}$	Cumprir a tolerância dimensional em simultâneo com os raios de curvatura	Utilizar uma ferramenta especial já com os raios e chanfros definidos	Torneamento

Na Figura 4.4 está ilustrada a secção G (indicada na Figura 4.2), onde está pormenorizado o furo de diâmetro 3mm (com o número 5) com uma profundidade de 10.5mm . Associado a este furo surge uma tolerância de posição. Cumprindo a ordem de encosto indicada, a mesma efectuada para a operação de diâmetro 51.3mm (representada na Figura 4.3) o eixo do furo tem que estar contido numa forma cilíndrica com 0.2mm de diâmetro.

Esta operação terá como principal dificuldade satisfazer a tolerância de posição referida anteriormente, não por ser uma tolerância muito apertada mas por se tratar de um furo oblíquo, o que dificulta a operação de furação. Para evitar que a broca deslize e que o furo não cumpra os requisitos de projeto podem ser consideradas duas medidas a adoptar: criar uma ligeira indentação com um apontador; ou utilizar uma fresa para criar uma superfície que seja

perpendicular à broca quando esta atacar a peça para a realização do furo. Esta operação será realizada recorrendo ao processo de furação.

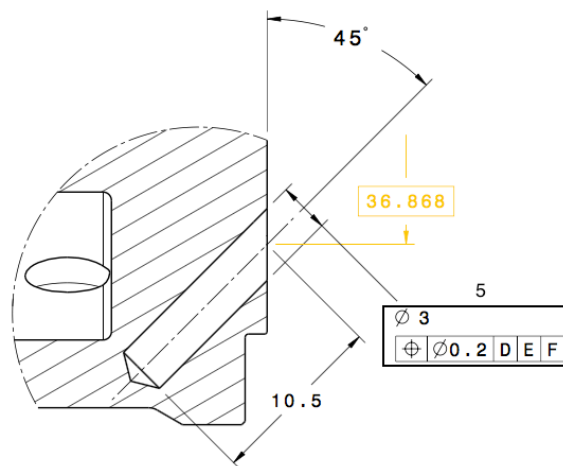


Figura 4.4 – Secção G

Na Figura 4.1 para além da secção D estão também representadas as secções F e a vista B. Como a secção F tem como principal função mostrar a secção I, a interpretação destas duas secções será realizada em paralelo, como ilustrado na Figura 4.5.

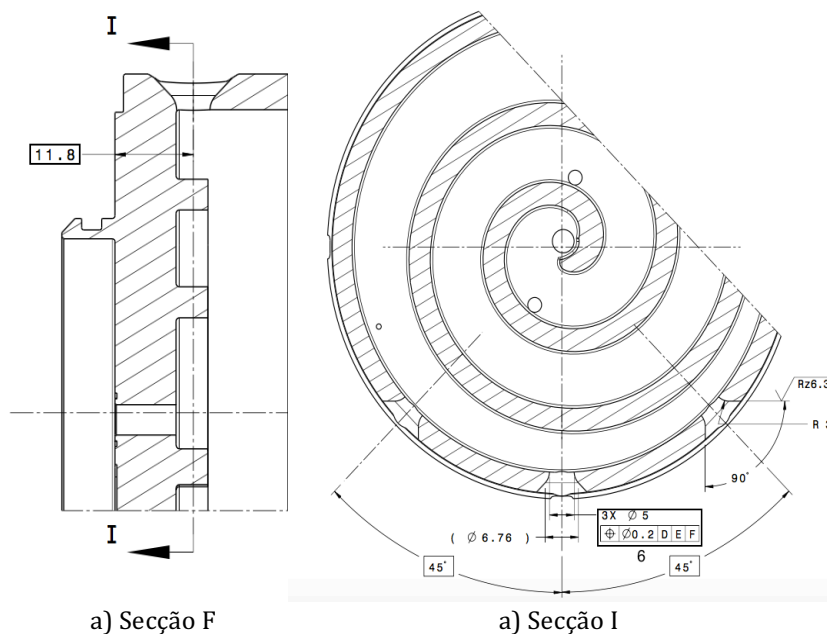


Figura 4.5 – Secção F e I

Como referido anteriormente a secção F mostra de onde surge a secção I, daí indicar a distância desde uma das faces até aos eixos dos furos (11.8mm). Nesta secção estão representa-

dos três furos distanciados entre si por 45° (cota teoricamente exata) com um diâmetro de 5mm não tendo nenhuma tolerância dimensional associada, apenas uma tolerância posicional de 0.2mm em relação às referências D, E e F. Para verificar se estes furos cumprem os requisitos de projeto, depois de realizados será necessário proceder ao seu controle: em que cumprindo a ordem de encostos indicada, os eixos dos furos têm que estar contidos numa forma cilíndrica de 0.2mm de diâmetro em que o centro está localizado a 11.8mm da face (como se pode verificar a azul na Figura 4.5). Estes furos serão realizados recorrendo a um processo de furação, no entanto estes também têm associado a si um chanfro de 45° pelo que será necessário recorrer ao processo de fresagem.

Na Figura 4.6 pode-se observar em pormenor a vista B, enunciada na Figura 4.1, onde estão indicadas duas secções C e H, que serão posteriormente estudadas. Para além das secções, são mostradas cotas teoricamente exatas em relação a um referencial que tem a sua origem na intersecção das rectas que representam as cotas zero teoricamente exatas. Outro pormenor são os três escateis representados, que apesar de não terem qualquer tipo de tolerância associada também irão ser uma das operações de maquinação a realizar, mais concretamente fresagem.

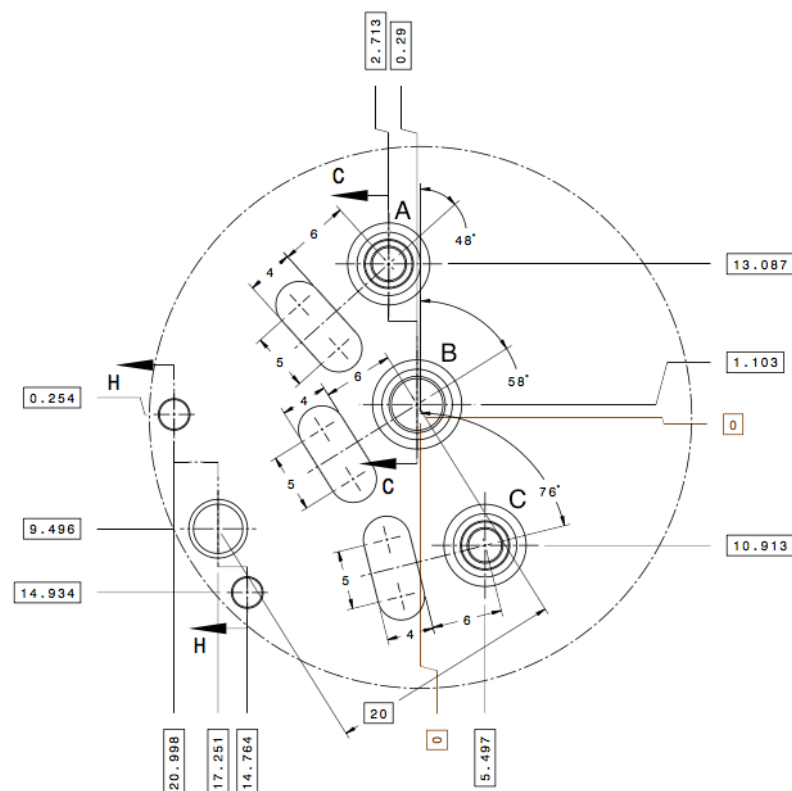


Figura 4.6 – Vista B

Na secção C (ilustrada na Figura 4.7) estão pormenorizados os três furos visíveis na vista B. Com o número 7 e 8 surgem aquelas que são as cotas mais relevantes e que apresentam tolerâncias mais exigentes. As restantes operações apesar de não serem tão exigentes, algumas delas também têm tolerâncias dimensionais associadas.

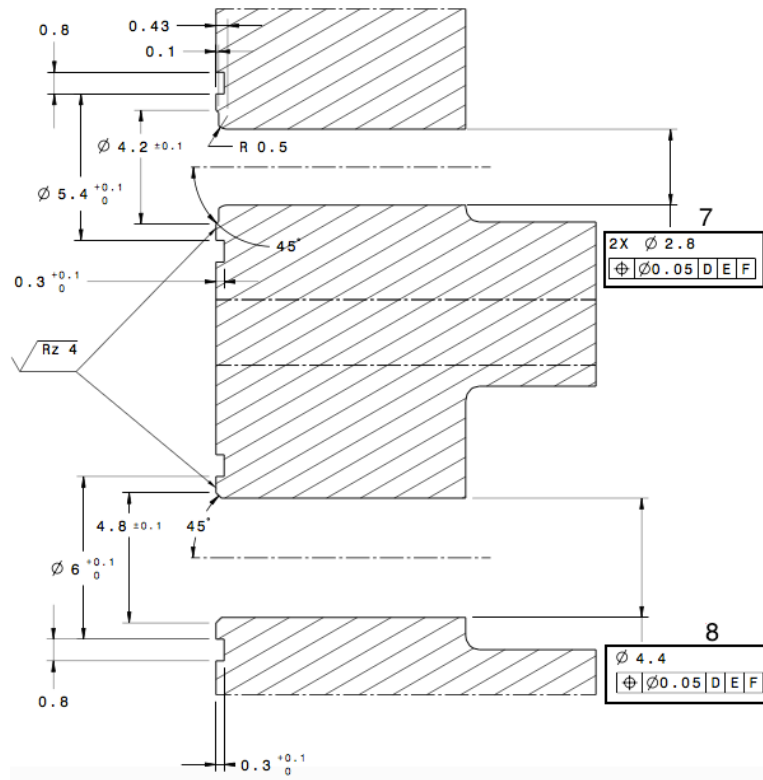


Figura 4.7 – Secção C

Relativamente aos dois furos de diâmetro 2.8mm (indicados na Figura 4.6 por A e C) e ao furo de diâmetro 4.4mm (indicado na Figura 4.6 por B), as tolerâncias são iguais para ambos, têm que cumprir uma tolerância de posição de 0.05mm : apoiando a peça segundo o plano D; centrando-a segundo o eixo da superfície cilíndrica E; e rodando até fazer batente no ponto F, o eixo de cada furo tem que estar contido numa forma cilíndrica de diâmetro 0.05mm . Os restantes requisitos que cada furo tem que cumprir estão representados na Tabela 4.3. Os três furos descritos anteriormente vão ser realizados recorrendo ao processo de furação, contudo uma vez que o boleado com raio de 0.5mm não é tangente às duas superfícies poderá ser necessário recorrer à utilização de uma ferramenta especial, que para além de realizar o furo e o boleado realizará também o chanfro a 45° . Ainda nesta vista é possível verificar a existência de um canal em torno de cada furo, pelo que será necessário recorrer a um processo de fresagem para a sua realização.

Tabela 4.3 – Verificação dos três furos toleranciados na Figura 4.7

Furo	Como fazer a verificação
A	O eixo da forma cilíndrica, com diâmetro $0.05mm$, dista da origem $3.003mm$ na horizontal e $13.087mm$ na vertical. O eixo do furo tem que estar contido na forma cilíndrica com estas características.
B	O eixo da forma cilíndrica, com diâmetro $0.05mm$, dista da origem $0.29mm$ na horizontal e $1.103mm$ na vertical. O eixo do furo tem que estar contido na forma cilíndrica com estas características.
C	O eixo da forma cilíndrica, com diâmetro $0.05mm$, dista da origem $5.497mm$ na horizontal e $10.913mm$ na vertical. O eixo do furo tem que estar contido na forma cilíndrica com estas características.

A outra secção (referenciada na Figura 4.6) é a secção H (Figura 4.8). Aqui surgem três furos como sendo as operações com maior nível de exigência. Dois destes furos com diâmetro $2.5mm$, apesar de serem iguais cada um deles irá originar uma referência. Associado a cada um encontra-se também uma tolerância dimensional $\varnothing 2.5 F7$. Esta tolerância pode ser traduzida como já foi feito anteriormente para outras cotas. A tolerância F7 representa um IT7 pelo que através do diâmetro ($2.5mm$) consultando a tabela do anexo 3, conclui-se que a tolerância correspondente é de $10\mu m$. Sabendo a tolerância total, e consultando a tabela de desvios de referência para furos surge que o desvio inferior (DI) é igual a $+6\mu m$. Utilizando a equação (1) obtém-se o desvio superior (DS) que é de $+16\mu m$, assim sendo uma outra forma para representar a tolerância seria $2.5^{+0.016}_{+0.006}mm$.

Para além da tolerância dimensional estes dois furos também têm associado uma tolerância de posição, em que seguindo a ordem de encosto representada, (o método já foi descrito anteriormente, uma vez que a sequência é a mesma (D, E e F)) o eixo de cada furo tem que estar contido numa forma cilíndrica de diâmetro $0.02mm$. Os restantes requisitos que cada furo tem que cumprir estão enunciados na Tabela 4.4.

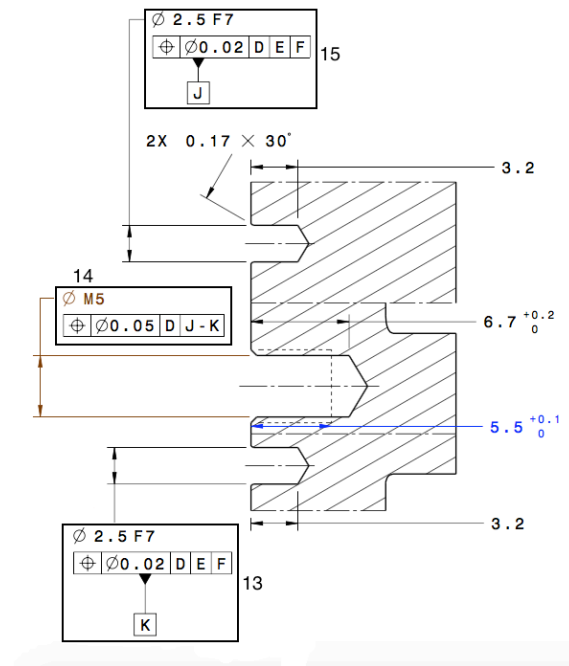




Figura 4.8 – Secção H

Tabela 4.4 – Verificação para os dois furos com diâmetro 2.5mm

Furo	Como fazer a verificação
15	O eixo da forma cilíndrica, com diâmetro 0.02mm, dista da origem 20.998mm na horizontal e 0.254mm na vertical. O eixo do furo tem que estar contido na forma cilíndrica com estas características.
13	O eixo da forma cilíndrica, com diâmetro 0.02mm, dista da origem 14.764mm na horizontal e 14.934mm na vertical. O eixo do furo tem que estar contido na forma cilíndrica com estas características.

Em relação ao furo roscado M5, este tem associado uma tolerância de posição relativa a D, J e K de 0.05mm, o que significa que encostando a peça segundo o plano D e depois fixando-a segundo os furos J e K o seu eixo tem que estar contido numa superfície cilíndrica com 0.05mm de diâmetro, em que o eixo da superfície cilíndrica dista da origem na horizontal 17.251mm e na vertical 9.496mm.

Tabela 4.5 – Síntese das tolerâncias mais relevantes da secção H

Cota	Tipo de tolerância	Dificuldades aparentes	Como ultrapassar essas dificuldades	Possível processo de maquinação
$\varnothing 2.5 F7$ $\oplus \varnothing 0.02 D E F$  J	Dimensional: $2.5^{+0.016}_{+0.006}$ Geométrica: eixo do furo contido numa forma cilíndrica com $0.02mm$ de diâmetro	Cumprir a tolerância dimensional devido aos desvios apresentados Cumprir a tolerância de posição relativa a D, E e F	Alterando a tolerância do furo e consequentemente a tolerância do pino Adquirindo uma broca especial	Furação
$\varnothing 2.5 F7$ $\oplus \varnothing 0.02 D E F$  K	Dimensional: $2.5^{+0.016}_{+0.006}$ Geométrica: eixo do furo contido numa forma cilíndrica com $0.02mm$ de diâmetro	Cumprir a tolerância dimensional devido aos desvios apresentados Cumprir a tolerância de posição relativa a D, E e F	Alterando a tolerância do furo e consequentemente a tolerância do pino Adquirindo uma broca especial	Furação
$\varnothing M5$ $\oplus \varnothing 0.05 D J - K$	Geométrica: eixo do furo contido numa forma cilíndrica com $0.05mm$ de diâmetro	Cumprir a tolerância de posição relativa a D, E e F	Maximizando o número de operações por aperto	Fresagem

Na Figura 4.9 apresenta-se a vista por de baixo da peça onde os principais aspectos a ter em atenção são: o furo de diâmetro $1mm$; o furo de diâmetro $2.2mm$; e a representação do ponto F

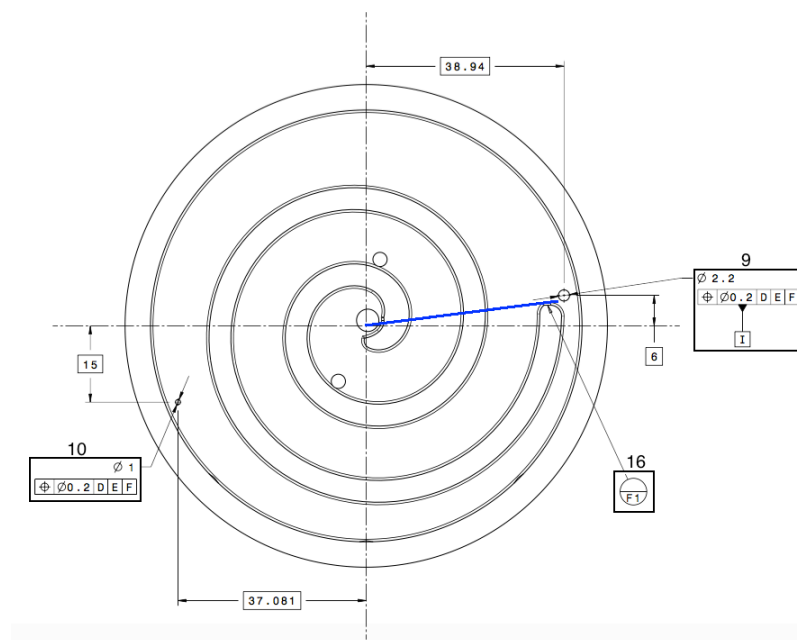


Figura 4.9 – Vista por de baixo

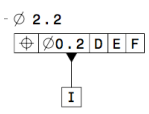
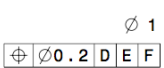
Em relação aos dois furos (ambos são passantes) presentes na figura não apresentam qualquer tolerância dimensional, apresentam uma tolerância de posição do seu eixo em relação a D, E e F, que tem que estar compreendido numa forma cilíndrica com $0.2mm$ de diâmetro. O furo de diâmetro $2.2mm$ tem a diferença de constituir a referência I, e devido a ser passante pode vir a ser útil no sentido de ser utilizado na fixação da peça (por exemplo através de um pino) de modo a minimizar desvios associados ao número de apertos. O ponto F, resulta da recta com origem no eixo da peça e que é tangente à extremidade da espiral, este ponto serve de referência a muitas das operações a realizar.

Tabela 4.6 - Verificação para o furo de diâmetro $2.2mm$ e $1mm$

Furo	Como fazer a verificação
9	O eixo da forma cilíndrica, com diâmetro $0.2mm$, dista da origem $38.94mm$ na horizontal e $6mm$ na vertical. O eixo do furo tem que estar contido na forma cilíndrica com estas características
10	O eixo da forma cilíndrica, com diâmetro $0.2mm$, dista da origem $37.081mm$ na horizontal e $15mm$ na vertical. O eixo do furo tem que estar contido na forma cilíndrica com estas características

Na Tabela 4.7 está representado uma síntese da informação mais importante relativa a esta vista.

Tabela 4.7 – Síntese das tolerâncias mais relevantes da vista de baixo

Cota	Tipo de tolerância	Dificuldades aparentes	Como ultrapassar essas dificuldades	Possível processo de maquinaria
	Geométrica: eixo do furo contido numa forma cilíndrica com $0.2mm$ de diâmetro, em relação a D, E e F	Cumprir a tolerância de posição relativa a D, E e F	Maximizando o número de operações por aperto	Furação
	Geométrica: eixo do furo contido numa forma cilíndrica com $0.2mm$ de diâmetro, em relação a D, E e F	Cumprir a tolerância de posição relativa a D, E e F	Maximizando o número de operações por aperto	Furação

4.2 Análise dos Desenhos Relativos à Peça Final

Na análise dos desenhos relativos à peça final, devido à exigência do componente, surgem tolerâncias bastante apertadas em que será necessário uma grande precisão não só nas operações a realizar mas também no planeamento. Na Figura 4.10 pode-se verificar que as referências criadas na peça pré-maquinada mantêm-se para esta última fase, exemplo disso são as referências I e H. Nesta imagem estão visíveis todas as secções a analisar neste subcapítulo, bem como a vista C que retrata a ponta da espiral.

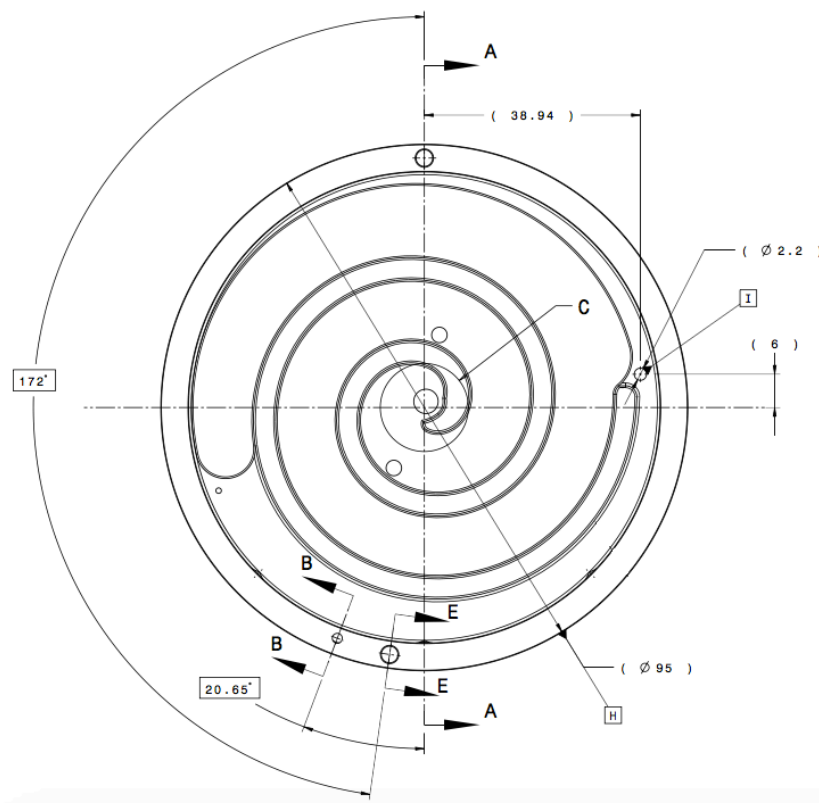


Figura 4.10 – Vista por de baixo

A primeira secção a ser analisada será a secção B (apresentada na Figura 4.11). A cota relativa ao furo com 1.8mm de diâmetro é a única que requer uma análise mais detalhada. Não tendo nenhuma tolerância dimensional associada, surge a dificuldade de garantir a tolerância de posição do eixo do furo, em que este tem que estar contido numa forma cilíndrica de diâmetro 0.1mm. Para esta verificação procede-se ao encosto da peça segundo o plano G, centrando-a segundo o eixo da superfície H e colocando um pino no furo de 2.2mm. Para além da dificuldade em garantir a posição do eixo do furo, existe um outro factor a ter em conta, a profundidade do furo em relação ao seu diâmetro, cerca de 10 vezes superior. Isto tendo em

atenção que o diâmetro é de 1.8mm , assim verifica-se que uma broca com estas características se torna instável e pode provocar desvios que coloquem em causa o cumprimento das tolerâncias. Para a execução desta operação recorre-se a um processo de furação.

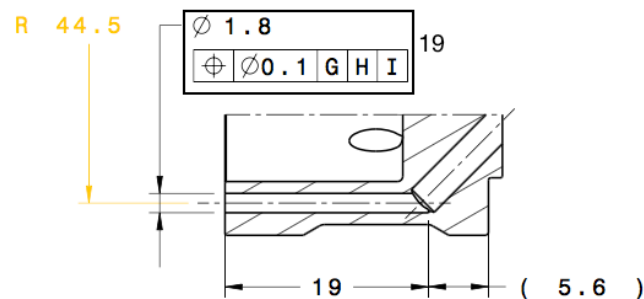


Figura 4.11 – Secção B

Na Figura 4.12 está representada a secção E, que tem como principal foco o furo de diâmetro 3mm . Este furo tem uma tolerância dimensional e duas tolerâncias de posição. A tolerância dimensional $\varnothing 3\text{ R7}$, pode ser traduzida, como já foi feito anteriormente para outras cotas. Sabendo que é um IT7, através do diâmetro (3mm) obtém-se assim que a tolerância correspondente é de $10\mu\text{m}$. Consultando a tabela de desvios de referência para furos surge que o desvio superior (DS) é igual a $-10\mu\text{m}$. Utilizando a equação (1) resulta que o desvio inferior (DI) é de $-20\mu\text{m}$. Neste sentido uma outra forma para representar a tolerância seria $3_{-0.02}^{-0.01}\text{mm}$.

Em relação às tolerâncias de posição, existem duas com ordens de encosto diferentes. A primeira indica-nos que: o eixo do furo tem que estar contido numa forma cilíndrica de 0.01mm de diâmetro quando encostado no plano G; em seguida centrada segundo o eixo da superfície H; e por fim colocar um pino no furo de 2.2mm . A segunda tolerância de posição é semelhante, o que difere são as referências. Apenas é necessário apoiar a peça segundo o plano G e fixa-la com um pino em M (esta referência é originada por um furo igual ao aqui descrito).

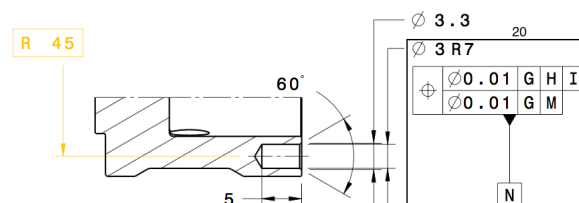


Figura 4.12 – Secção E

Este furo surge neste projeto como uma das principais dificuldades, por diversas razões: apresenta uma tolerância dimensional de apenas $0.01mm$; apresenta duas tolerâncias de posição do seu eixo de $0.01mm$; e a espessura da parede lateral ($1mm$). Uma vez que este furo é para cravar um pino, é possível que a parede ceda, caso tenha sido anteriormente sujeita a forças excessivas. As tolerâncias apertadas a que este furo está sujeito devem-se ao facto de os pinos servirem de guia para a montagem do resto dos componentes do mecanismo em questão.

A secção A (Figura 4.13), surge como a secção que apresenta as tolerâncias mais apertadas. A cota identificada com o número 21 é semelhante à que já foi explicada na secção E (Figura 4.12) com a diferença de que o furo representado nessa secção E requer que este furo já tenha sido realizado, uma vez que tem uma tolerância de posição relativa à referência M. Identificada com o número 22 aparece uma tolerância de forma relativa ao perfil da espiral, que diz que em cada secção paralela ao plano de projecção, o perfil deverá estar contido entre duas linhas envolventes de círculos de diâmetro $0.006mm$, cujos os centros estão situados na linha possuidora do perfil geometricamente correto. A ordem de encosto para a verificação da tolerância de forma é a seguinte: encostar a peça segundo o plano L e em seguida fixar a peça através dos dois furos de diâmetro $3mm$.

Assinalado com o número 23 (na Figura 4.13) surgem duas tolerâncias associadas ao topo da espiral, uma de planeza e outra de paralelismo. A primeira indica que o topo da espiral tem que estar contido entre dois planos paralelos distanciados entre si de $0.01mm$ em que o plano médio será o plano geometricamente correto. Relativamente à cota de paralelismo, indica que o plano que define o topo da espiral tem que estar contido entre dois planos distanciados entre si por $0.004mm$ em que o plano médio será o plano geometricamente correto, esta tolerância tem que se verificar quando a peça apoiada segundo a base da espiral.

A referência L (assinalada com o número 24) é definida através do cumprimento de duas tolerâncias, uma de planeza e outra de paralelismo, à semelhança do caso anterior. Para cumprir a tolerância de planeza é necessário que o plano que define L esteja contido entre dois planos distanciados entre si de $0.02mm$. A tolerância de paralelismo é indicada em relação ao plano G, em que encostado a peça segundo esse plano, o plano L tem que estar contido entre dois planos distanciados entre si de $0.02mm$.

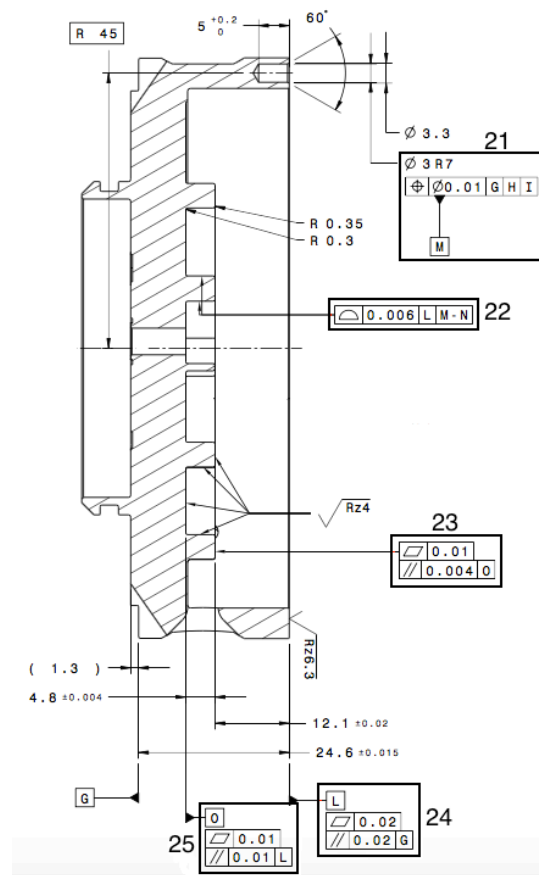


Figura 4.13 – Secção A

O plano que define a base da espiral, tal como explicado anteriormente tem associada uma cota de planeza e de paralelismo. Em relação à tolerância de planeza esta indica que o plano da base da espiral tem que estar contido entre dois planos distanciados entre si de 0.01mm . A tolerância de paralelismo refere que encostando a peça segundo o plano L o plano O tem que estar compreendido entre dois planos que distam entre si de 0.01mm .

Tabela 4.8 - Síntese das tolerâncias mais relevantes da secção H

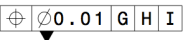
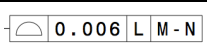
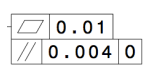
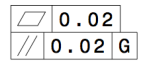
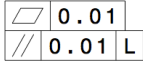
Cota	Tipo de tolerância	Dificuldades aparentes	Como ultrapassar essas dificuldades	Possível processo de maquinação
$\varnothing 3 R7$ 	Dimensional: $3_{-0.02}^{+0.01}$ Geométrica: eixo do furo contido numa forma cilíndrica com $0.01mm$ de diâmetro, em relação a G, H e I	Cumprir a tolerância dimensional e de posição simultaneamente	Uma possibilidade será recorrer a um processo de acabamento do furo por <i>reaming</i>	Furação
	Geométrica: forma de $0.006mm$ em relação a L, M e N	Cumprir a tolerância de forma em relação às referências apresentadas	Utilizando um processo de alta precisão para o acabamento do perfil da espiral	Fresagem
	Geométrica: planeza de $0.01mm$ Geométrica: paralelismo de $0.004mm$ em relação a O	Cumprir as tolerâncias apresentadas	Utilizando um processo de alta precisão para o acabamento do perfil da espiral	Fresagem
	Geométrica: planeza de $0.02mm$ Geométrica: paralelismo de $0.02mm$ em relação a G	Cumprir as tolerâncias apresentadas	Maximizando o número de operações por aperto	Fresagem
	Geométrica: planeza de $0.01mm$ Geométrica: paralelismo de $0.01mm$ em relação a G	Cumprir as tolerâncias apresentadas	Maximizando o número de operações por aperto	Fresagem

Tabela 4.9 - Verificação das cotas assinaladas na Figura 4.13

Cota	Como fazer a verificação
21	O eixo da forma cilíndrica, com diâmetro $0.01mm$, dista da origem $0mm$ na horizontal e $45mm$ na vertical. O eixo do furo tem que estar contido na forma cilíndrica com estas características
22	O perfil tem que estar contido entre duas linhas envolventes de círculos de diâmetro $0.006mm$, cujos os centros estão situados na linha do perfil geometricamente correto
23	O topo da espiral tem que estar contido entre dois planos paralelos distanciados entre si de $0.01mm$ em que o plano médio será o plano geometricamente correto, e em relação a O tem que estar contido entre dois planos que distam entre si de $0.004mm$
24	O plano da base da peça tem que estar contido entre dois planos paralelos distanciados entre si de $0.02mm$ em que o plano médio será o plano geometricamente correto, e em relação a G tem que estar contido entre dois planos que distam entre si de $0.02mm$
25	O plano da base do espiral tem que estar contido entre dois planos paralelos distanciados entre si de $0.01mm$ em que o plano médio será o plano geometricamente correto, e em relação a L tem que estar contido entre dois planos que distam entre si de $0.01mm$

Na Figura 4.14 está representado a secção C, que diz respeito ao pormenor da ponta da espiral. As cotas aqui presentes são relativas a dois raios que constituem o perfil da espiral. A cota correspondente ao número 17 indica que encostando a peça segundo o plano L e em seguida fixando-a através dos dois furos de diâmetro $3mm$ o eixo do centro da circunferência tem que estar contido numa superfície cilíndrica de diâmetro $0.05mm$, em que o eixo da superfície cilíndrica dista da origem, horizontalmente $0.66mm$ e verticalmente $1.046mm$.

Relativamente à cota representada pelo número 18, tem que cumprir os mesmo requisitos de projeto que a cota 17, explicados anteriormente. A única diferença será na localização do eixo da superfície cilíndrica, que neste caso dista da origem, $1.252mm$ horizontalmente e $3.358mm$ verticalmente. Para a realização desta operação recorre-se à fresagem, tal como nas operações anteriores relativas à espiral

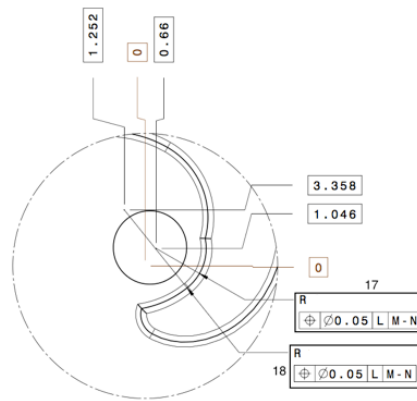


Figura 4.14 – Secção C

5 SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES

Analisando os desenhos fornecidos e de modo a perceber quais as primeiras operações de maquinação a realizar, recorre-se à *Design Structure Matrix*. Contrói-se um matriz com as operações de maquinação a realizar e respectivas referências, de modo a conseguir elaborar uma sequência de operações que respeite todas as referências exigidas pelo projeto.

A *DSM*, ou matriz de estrutura do projeto, também chamada de matriz da estrutura dependente é um método geral para representar e analisar modelos de sistemas numa vasta gama de áreas. A matriz *DSM* é uma matriz quadrada (i.e tem o mesmo número de linhas e de colunas) que permite mostrar a relação entre os vários elementos de um sistema.

Neste processo de maquinação existem duas fases, uma primeira de “Pré-Maquinação” (operações 1 a 16) que tem como finalidade definir a geometria da peça fundida. Nesta primeira etapa são removidas grande parte das sobre-espessuras resultantes da fundição, deixando apenas pequenas espessuras para acabamento numa fase posterior. Contudo algumas superfícies não funcionais e outras superfícies que não requerem tolerâncias muito apertadas podem já ficar totalmente definidas. Na segunda fase de maquinação, “Fase de Acabamento” (operações 17 a 25), define-se as geometrias finais da peça em que terão de ser cumpridas algumas tolerâncias rigorosas.

Neste processo de construção da *DSM* apenas são consideradas operações que definem referências ou que necessitam de outras referências criadas anteriormente para a sua realização. Todas as operações que não definem referências e que não dependem de outras para a sua realização serão ignoradas uma vez que podem ser realizadas em qualquer altura e não necessitam de seguir uma determinada sequência.

Para facilitar a construção da sequência de operações atribuem-se números a cada uma das operações. Esta numeração está representada na Tabela 5.1, e é coerente com a numeração apresentada anteriormente no capítulo 4.

Tabela 5.1 – Lista de Operações

Operação	Descrição	Referência a definir	Operações que antecedem
1	Plano D	D	-
2	$\phi = 93mm$	E	-
3	$\phi = 95mm$	H	-
4	$\phi = 51.3mm$	-	DEF
5	Furo oblíquo ($\phi = 3mm$)	-	DEF
6	Furos ($\phi = 5mm$)(x3)	-	DEF
7	Furos ($\phi = 2.8mm$)(x2)	-	DEF
8	Furo ($\phi = 4.4mm$)	-	DEF
9	Furo ($\phi = 2.2mm$)	I	DEF
10	Furo ($\phi = 1mm$)	-	DEF
11	$\phi = 54.5mm$	-	DE
12	Plano G	G	D
13	Furo ($\phi = 2.5mm$)	K	DEF
14	Rosqueamento M5	-	DJK
15	Furo ($\phi = 2.5mm$)	J	DEF
16	Ponto F	F	-
17	Raio ponta da espiral	-	LMN
18	Raio ponta da espiral	-	LMN
19	Furo ($\phi = 1.8mm$)	-	GHI
20	Furo ($\phi = 3mm$)	N	GHIM
21	Furo ($\phi = 3mm$)	M	GHI
22	Parede da espiral	-	LMN
23	Topo da espiral	-	O
24	Plano L	L	G
25	Base da espiral	O	L

Numeradas todas as operações, cria-se um fluxograma (Figura 5.1) de modo a perceber a dependência entre operações. Sendo que algumas operações não requerem nenhuma operação prévia, como por exemplo as operações que estão no centro (1,16, 2 e 3), pelo que podem ser realizadas em qualquer momento. Estas quatro operações serão as primeiras a realizar devido ao número de operações que delas dependem.

De salientar a operação 16, que não sendo uma operação de maquinação, é um ponto, ponto esse que é definido pela linha tangente à superfície F e coincidente com o eixo da peça. Este ponto serve de referência para variadas operações.

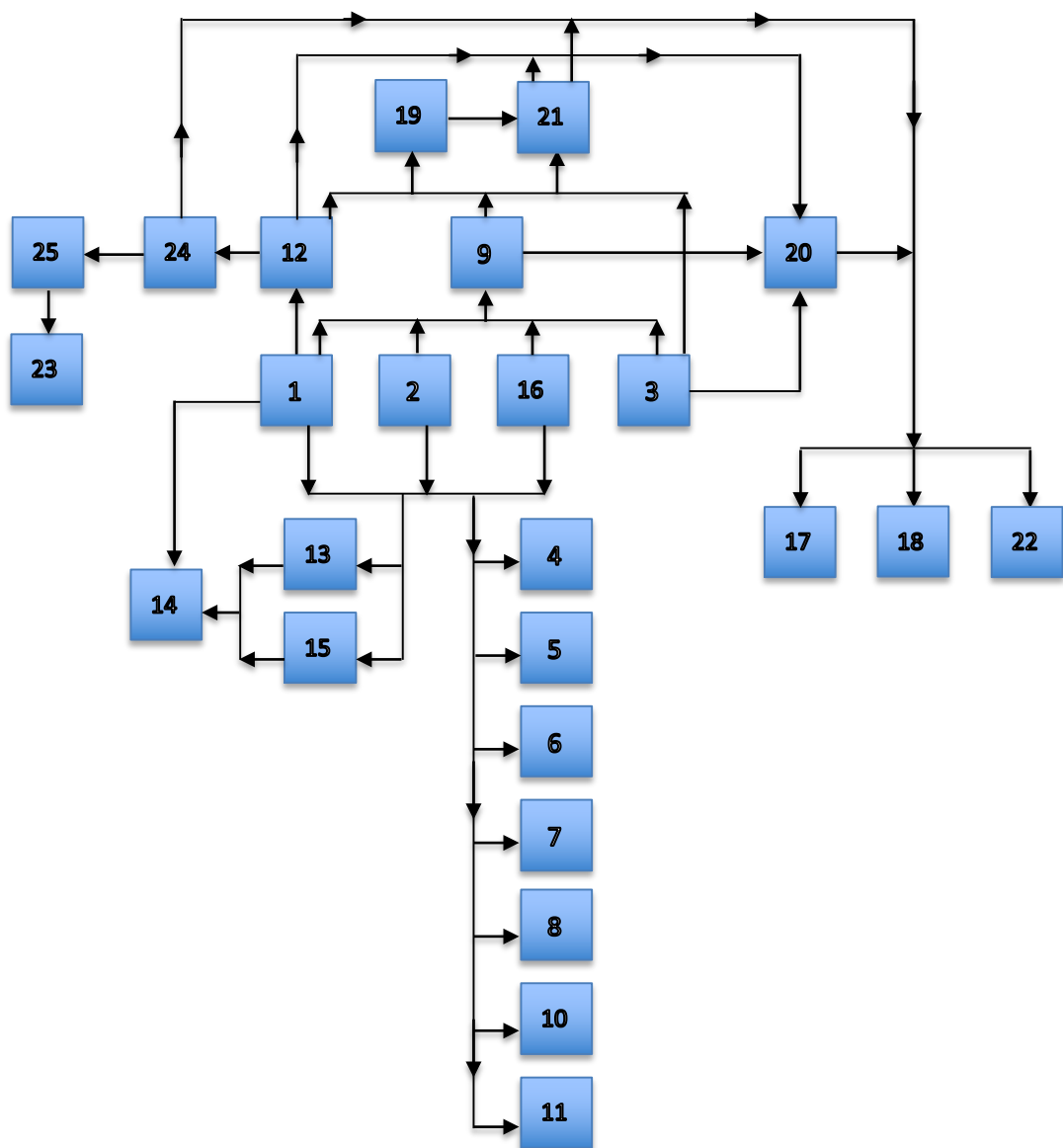


Figura 5.1 - Fluxograma das operações a realizar

Criando o fluxograma torna-se mais fácil criar a matriz *DSM*, uma vez que no primeiro se consegue identificar a dependência de cada uma das operações. Assim sendo procede-se à criação da matriz (Tabela 5.2). Como a numeração foi feita de forma aleatória existem algumas operações que necessitam de outras que ainda não foram realizadas, um exemplo disso é a operação 14 que necessita da operação 15. Neste caso é necessário proceder à troca de operações, e como resultado dessa troca surge uma nova matriz (Tabela 5.3).

Perante esta nova matriz, existe uma sequência definida, ou seja, todas as operações podem ser realizadas porque as suas antecedentes já estão concluídas. Contudo existem ainda

pormenores técnicos que têm que ser corrigidos, como exemplo disso é verificar quais as operações que podem ser realizadas nos mesmos apertos de modo a diminuir os tempos de fabrico, bem como evitar o aumento de desvios devido a um número elevado de apertos, o que iria dificultar o cumprimento das tolerâncias exigidas.

Para uma análise mais facilitada opta-se pela separação de um em dois fluxogramas, assim como da matriz *DSM*. Assim sendo constrói-se um novo fluxograma e uma nova matriz para a peça pré-maquinada, em que apenas são consideradas as operações 1 a 16. O mesmo processo realiza-se para a peça final, considerando neste caso apenas as operações 17 a 25.

Tabela 5.2 – *DSM* total, com pré-maquinação e maquinação da peça final

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1																									
2																									
3																									
4	1	1														1									
5	1	1														1									
6	1	1														1									
7	1	1														1									
8	1	1														1									
9	1	1														1									
10	1	1														1									
11	1	1																							
12	1																								
13	1	1														1									
14	1																								
15	1	1																							
16																									
17																									
18																									
19			1						1			1								1	1			1	
20			1						1			1								1	1			1	
21			1						1			1													
22																									
23																									
24																									
25																									

Tabela 5.3 – Matriz *DSM* total reorganizada.

	1	2	3	16	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	14	19	21	24	20	17	18	22	25	23
1																									
2																									
3																									
16																									
4	1	1		1																					
5	1	1		1																					
6	1	1		1																					
7	1	1		1																					
8	1	1		1																					
9	1	1		1																					
10	1	1		1																					
11	1	1		1																					
12	1																								
13	1	1		1																					
15	1	1		1																					
14	1																								
19			1							1		1													
21			1							1		1													
24												1													
20			1							1		1						1							
17																		1	1	1					
18																		1	1	1					
22																		1	1	1					
25																			1						
23																								1	

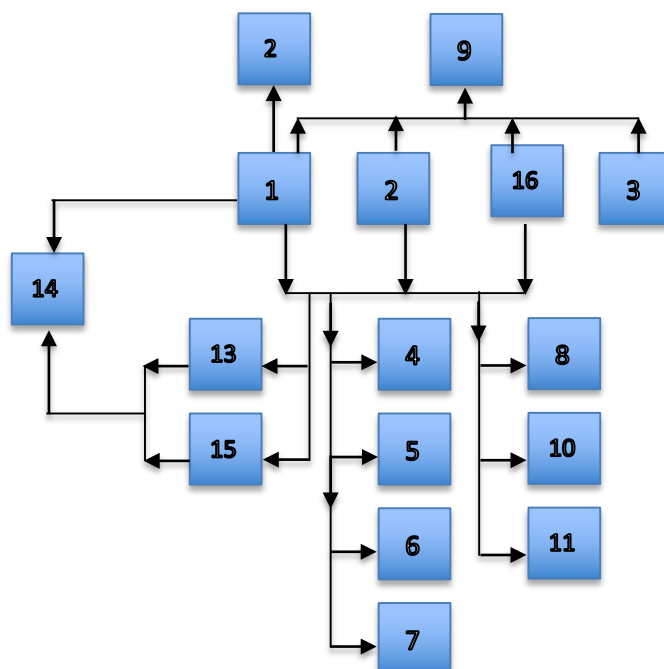


Figura 5.2 – Fluxograma da sequência de operações da peça pré-maquinada

Na Tabela 5.4 está representada a respectiva matriz DSM . Esta matriz é uma sub-matriz da matriz total (representada na Tabela 5.3).

Como referido anteriormente a sequência de operações não tem obrigatoriamente que ser determinada pela matriz *DSM*. Analisando a matriz verifica-se que existem algumas operações que podem ser trocadas entre si sem que disso resulte alguma consequência, como exemplo disso são as operações de 4 a 11 em que todas necessitam das mesmas referências e que já foram definidas anteriormente, ou seja, trocar estas operações entre si em nada irá influenciar o processo.

No primeiro aperto a realizar, em que a peça será apertada pelo lado A (ver a Figura 6.1 onde está definido o lado A e B) as operações a realizar serão as operações 1, 2, 3, 16, 9 e 10, operações estas todas referentes ao lado B da peça. As operações 9 e 10 poderiam ser feitas de ambos os lados, contudo optou-se por realizar os dois furos neste primeiro aperto. O furo realizado na operação 9, que tem um diâmetro de $2.2mm$, vai ser utilizado na fixação da peça aquando da maquinação do lado A da peça, de modo a não perder as referências criadas ante-

riormente no lado B, conseguindo manter o mais aproximado possível o posicionamento da peça nos dois lados. Para garantir este posicionamento coloca-se um pino na bucha de modo a entrar no furo de diâmetro 2.2mm. Coloca-se também na bucha um batente que vai encostar no ponto F (operação 16), e assim consegue-se garantir uma posição da peça muito semelhante à anterior.

Tabela 5.4 – Matriz *DSM* para a peça pré-maquinada

	1	2	3	16	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	14
1																
2																
3																
16																
4	1	1		1												
5	1	1		1												
6	1	1		1												
7	1	1		1												
8	1	1		1												
9	1	1		1												
10	1	1		1												
11	1	1		1												
12	1															
13	1	1		1												
15	1	1		1												
14	1													1	1	

Reorganizando a matriz *DSM* (Tabela 5.5) surgem como as primeiras seis operações como aquelas que serão realizadas no primeiro aperto e maquinadas no lado B.

Tabela 5.5 – Matriz *DSM* organizada segundo a sequência de apertos

	1	2	3	16	9	10	12	11	4	7	8	13	15	14	5	6
1																
2																
3																
16																
9	1	1		1												
10	1	1		1												
12	1															
11	1	1		1												
4	1	1		1												
7	1	1		1												
8	1	1		1												
13	1	1		1												
15	1	1		1												
14	1															
5	1	1		1												
6	1	1		1												

Para a peça final procede-se da mesma forma que para a peça pré-maquinada e constrói-se um fluxograma (Figura 5.3) onde apenas entram as operações necessárias para a peça final. De notar que as operações 3, 9 e 12 já foram realizadas na peça pré-maquinada contudo constituem referências para algumas operações a realizar na peça final.

Nesta fase final todas as operações serão realizadas no mesmo aperto, uma vez que são do mesmo lado da peça. Isto é possível devido às características da máquina escolhida para este processo de acabamento (*Kern*), o que evita desvios associados à troca de apertos e representa uma grande vantagem para conseguir garantir todas as tolerâncias apresentadas.

O facto de apenas ser realizado um aperto permite que não seja necessário proceder à troca de operações na matriz *DSM*, ainda assim optou-se por realizar primeiro as operações de furação, pelo que a matriz foi reorganizada.

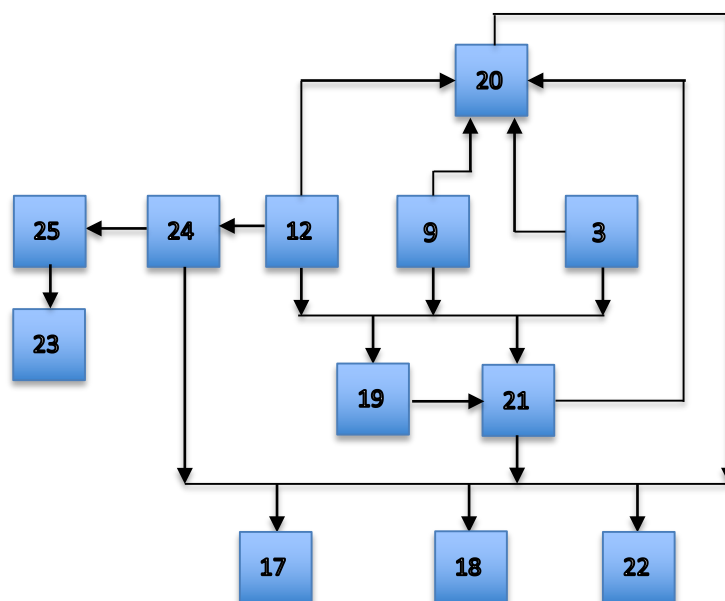


Figura 5.3 – Fluxograma da sequência de operações da peça final

Na Tabela 5.6 está representado a respectiva matriz *DSM*, e tal como a matriz da peça pré-maquinada esta também é uma sub-matriz da matriz *DSM* total reorganizada que está representada na Tabela 5.3.

Tabela 5.6 – Matriz *DSM* para a peça final

	19	21	20	24	17	18	22	25	23
19									
21									
20		1							
24									
17		1	1	1					
18		1	1	1					
22		1	1	1					
25				1					
23								1	

5.1 Máquinas-ferramenta

Durante a definição da sequência de operações foram definidas quais as máquinas-ferramenta que melhor se adequam ao processo, com vista a cumprir os requisitos de projeto.

5.1.1 Mazak Integrex i-200

Esta máquina-ferramenta foi a escolhida para realizar algumas das operações relativas à fase de pré-maquinação, principalmente operações de torneamento. Contudo esta máquina tem a capacidade de efetuar operações não só de torneamento, mas também de fresagem e furação.

Características principais:

- Velocidade máxima de rotação do porta ferramentas (*spindle*): 12000rpm;
- Velocidade máxima do porta peças: 5000rpm.[5]

5.1.2 Kern Micro

Para a realização das restantes operações, foi esta a máquina-ferramenta escolhida. Sendo uma máquina polivalente e ultracompacta que oferece possibilidades de automação notáveis combinadas com a nano precisão. Esta máquina pode ser utilizada para um grande universo de peças – e apresenta a alta precisão posicional de $\pm 0.5\mu m$, ainda assim mantém elevados níveis de repetibilidade e produtividade. Devido a estas estupendas características, esta máquina permite minimizar o número de apertos, aliando a isso uma precisão de excelência.

Características principais:

- Tolerância de posição do porta ferramentas: $\pm 0.5\mu m$
- Tolerância de inclinação do porta peças: $\pm 3.0''$
- Tolerância de rotação do porta peças: $\pm 0.5''$
- Velocidade máxima de rotação do porta ferramentas (*spindle*): 35000rpm
- Velocidade máxima de rotação do porta peças: 42000rpm.[6]

6 SEQUÊNCIA DE MAQUINAÇÃO

6.1 Fase de Pré-maquinação

Para esta primeira etapa de pré-maquinação vão ser utilizadas as duas máquinas descritas anteriormente, *Mazak integrex i-200* e *Kern Micro*. Como representado na Figura 6.1 definem-se dois lados, A e B, de modo a facilitar a descrição das operações.

A ordem das operações é a definida anteriormente pela matriz *DSM*, contudo as operações são numeradas novamente³. Para cada uma das operações escolhe-se a ferramenta e o suporte que melhor se adequam, e os parâmetros de corte recomendados pelo fabricante, representados na Tabela 6.2 (para a “Fase de Pré-maquinação”) e na Tabela 6.4 (“Fase de Acabamento”). Relativamente aos métodos de fixação, estes não são abordados na presente dissertação.

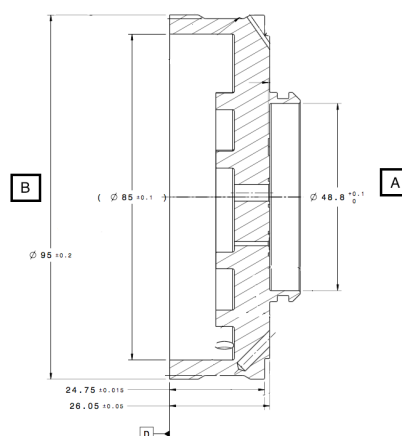


Figura 6.1 – Definição do lado A e B

³ Entre parêntesis aparecerá o respectivo número da operação da *DSM*

6.1.1 Operações a Realizar no Primeiro Aperto

Neste subcapítulo são descritas as operações a realizar no primeiro aperto, em que apertando a peça pelo lado A realizam-se operações relativas ao lado B. Estas operações são realizadas recorrendo à máquina *Mazak integrex i-200*.

6.1.1.1 1ª Operação – Definição da Face D (Operação 1 da DSM)

Fixando a peça pelo lado A procede-se à definição da face D (operação 1 da DSM), através de um facejamento em que será removida a totalidade da sobre-espessura proveniente da fundição. Esta operação define a cota final requerida, ou seja, para além de ser uma operação de desbaste também será de acabamento. A sobre-espessura para esta operação é de $1.3mm$ (anexo 4), sabendo que provém de fundição em areia e que a cota de base é de $26.05mm$.

De acordo com estes requisitos procede-se à escolha da pastilha bem como do respectivo suporte (Figura 6.2).

|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

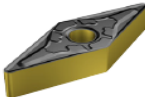

Figura 6.2 – Pastilha e suporte escolhidos para a operação de facejamento

6.1.1.2 2ª e 3ª Operação - Perfilamento que Define as Referências E e H (Operação 2 e 3 da DSM)

Em relação à definição das referências E e H (consultando o anexo 4) observa-se que para uma cota base de $95mm$ a sobre-espessura resultante é de $1.6mm$. Tal como na operação

anterior, este perfilamento define a cota final. A escolha da ferramenta para estas operações (2 e 3) é feita tendo em atenção o ângulo de 120° que é necessário cumprir.

Um outro factor relevante para esta escolha foi o perfilamento que será necessário realizar na face oposta da peça e assim minimizar o número de ferramentas a adquirir. Na Figura 6.3 encontra-se representado a pastilha e o suporte escolhidos para a realização destas operações.

			P					M					K					S							
			1515	1525	4205	4235	4315	4325	5015	1115	1125	2015	2025	2035	235	3005	3205	3210	3215	H13A	1105	1115	1125	H13A	S05F
		CÓDIGO ISO																							
		16	3/8	VNMG 16 04 08-KM																					
				VNMG 16 04 12-KM																					

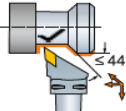




																				  													
				CZC _{MS}	OHX	CNSC	Código para pedido					DCON	LF	WF	HF	CP BarPSI	Nm	Kg															
		16	3/8	C3	45.0	1	C3-MVJNR/L-22045-16					32	45.0	22.0	0.0	10	5.0	0.22															
					1.772							1.260	1.772	.866	.000	145	.482																
				C4	50.0	1	C4-MVJNR/L-27050-16					40	50.0	27.0	0.0	10	5.0	0.66															
					1.969							1.575	1.969	1.063	.000	145	.880																
				C5	60.0	1	C5-MVJNR/L-35060-16					50	60.0	35.0	0.0	10	5.0	0.85															
					2.362							1.969	2.362	1.378	.000	145	1.870																

Figura 6.3 – Pastilha e suporte escolhidos para a realização do perfilamento

6.1.1.3 4ª e 5ª Operação – Furo com Diâmetro 2.2mm e 1mm (Operação 9 e 10 da DSM)

As restantes operações a realizar neste aperto são os dois furos, descritos anteriormente como as operações 9 e 10. Estes furos apesar não terem uma elevada exigência a nível de tolerâncias, apresentam dimensões reduzidas e a profundidade de corte é muito superior ao diâmetro da ferramenta, o que pode trazer problemas na realização das operações.

A execução de ambos os furos poderia ser realizada posteriormente, no entanto o furo de diâmetro 2.2mm irá ajudar na fixação da peça para a maquinação do lado A, e assim opta-se por realizar também o furo de diâmetro 1mm. Na Figura 6.4 estão representadas as brocas escolhidas para a realização dos dois furos, e o suporte a utilizar está representado na Figura 6.9.



Diameter			Shank dia	O.A.L.	F.L.	EDP Number	
dec	fract	wire/let	mm	mm	mm		
0.0386			0.98	3.00	38.00	10.00	9038990009800
0.0390		61	0.99	3.00	38.00	10.00	9038990009900
0.0394			1.00	3.00	38.00	10.00	9038990010000
0.0398			1.01	3.00	38.00	10.00	9038990010100
0.0846			2.15	3.00	38.00	12.00	9038990021500
0.0866			2.20	3.00	38.00	12.00	9038990022000
0.0886			2.25	3.00	38.00	12.00	9038990022500

Figura 6.4 – Brocas escolhidas para a realização dos duros de diâmetro 2.2mm e 1mm

Concluídas todas as operações na face B, será necessário realizar um novo aperto para iniciar as operações no lado A.

6.1.2 Operações a Realizar no Segundo Aperto

Neste subcapítulo são descritas as operações a realizar no segundo aperto, em que apertando a peça pelo lado B realizam-se operações relativas ao lado A. Estas operações são realizadas recorrendo à máquina *Mazak integrex i-200*.

6.1.2.1 6ª e 7ª Operação – Definição da Referência G e do Diâmetro de 54.5mm (Operação 12 e 11 da DSM)

Nesta operação define-se: a referência G (operação 12 da DSM); o diâmetro de 54.5mm (operação 11); e todo o perfil representado na Figura 6.5, recorrendo a um processo de torneamento. Para a execução desta operação a escolha da ferramenta recai na utilizada para as operações 2 e 3 (Figura 6.3), uma vez que se trata também de um perfilamento.

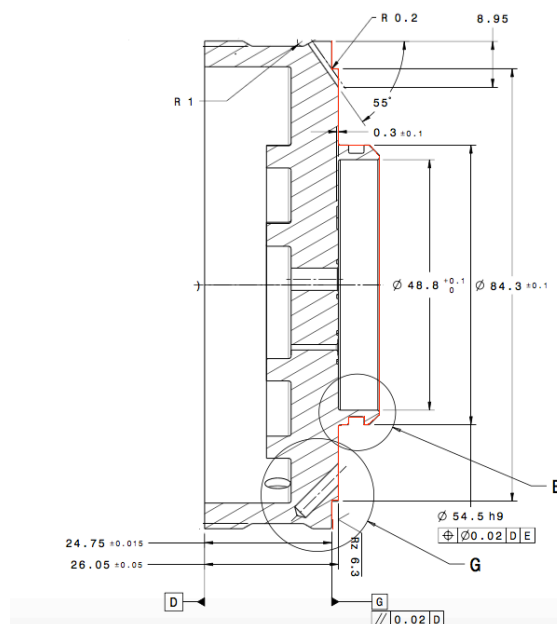






Figura 6.5 – Perfilamento a realizar nas operações 6 e 7

6.1.2.2 8ª Operação - Definição dos Raios de 0.2mm e 0.4mm

Devido ao facto de a ferramenta escolhida ter um raio de ponta de $0.8mm$ não é possível definir os raios de $0.2mm$ e $0.4mm$, pelo que é necessário realizar outra operação para os definir.

Os dois raios podem ser realizados com a mesma ferramenta, para tal basta que a pastilha tenha um raio de ponta de $0.2mm$. A ferramenta e o suporte escolhidos para esta operação encontram-se representados na Figura 6.6

			P								M								K								N								S							
			1515	1525	4205	4235	4315	4215	5015	6030	1115	1125	2015	2025	2035	235	6015	6030	6205	6210	6215	6230	H19A	1125	H10	H19A	1105	1115	1125	6315	H19A											
	CÓDIGO ISO		☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆												
	06	1/4	CCGT 06 02 01-UM							☆	☆	☆										☆	☆		☆	☆	☆	☆	☆	☆												
			CCGT 06 02 02-UM	☆						☆	☆	☆										☆	☆		☆	☆	☆	☆	☆	☆												
			CCGT 06 02 04-UM	☆						☆	☆	☆		☆								☆	☆		☆	☆	☆	☆	☆	☆												
									☆		☆	☆										☆	☆		☆	☆	☆	☆	☆	☆												
	09	3/8	CCGT 09 T3 01-UM						☆	☆	☆										☆	☆		☆	☆	☆	☆	☆	☆													
			CCGT 09 T3 02-UM	☆					☆	☆	☆										☆	☆		☆	☆	☆	☆	☆	☆													
			CCGT 09 T3 04-UM	☆					☆	☆	☆										☆	☆		☆	☆	☆	☆	☆	☆													
			CCGT 09 T3 08-UM	☆					☆	☆	☆		☆								☆	☆		☆	☆	☆	☆	☆	☆													
									☆		☆	☆									☆	☆		☆	☆	☆	☆	☆	☆													
			Dimensões, mm, pol.																																							
			CZC _{MS}	DMIN ₁	DMIN ₂	OHX	CNSC	Código para pedido																DCON	LF	WF	HF	CP BarPSI	Nm	kg												
	09	3/8	C4	60.0	140.0	50.0	1	C4-DCLNR/L-27050-09																40	50.0	27.0	0.0	10	1.7	0.33												
				2.362	5.512	1.969																		1.575	1.969	1.063	.000	145		.717												
	12	1/2	C3	60.0	121.0	45.0	1	C3-DCLNR/L-22045-12																32	45.0	22.0	0.0	10	3.9	0.26												
				2.362	4.764	1.772																		1.260	1.772	.866	.000	145		.570												
			C4	110.0	140.0	50.0	1	C4-DCLNR/L-27050-12																40	50.0	27.0	0.0	10	3.9	0.33												
				4.331	5.512	1.969																		1.575	1.969	1.063	.000	145		.717												

6.1.2.3 9ª Operação – Realização do Canal com 3mm de Espessura e Definição do Diâmetro de 51.3mm (Operação 4 da DSM)

Na Figura 6.7 - (a) está representado o canal que aquando da sua realização define o diâmetro de 51.3mm (operação 4 da DSM). A ferramenta utilizada para este processo é uma ferramenta especial com o mesmo formato do canal (Figura 6.7 – (b)), a ferramenta tem também um raio de ponta igual ao exigido pelo projeto (0.3mm), tal como o chanfro (0.1×45°).

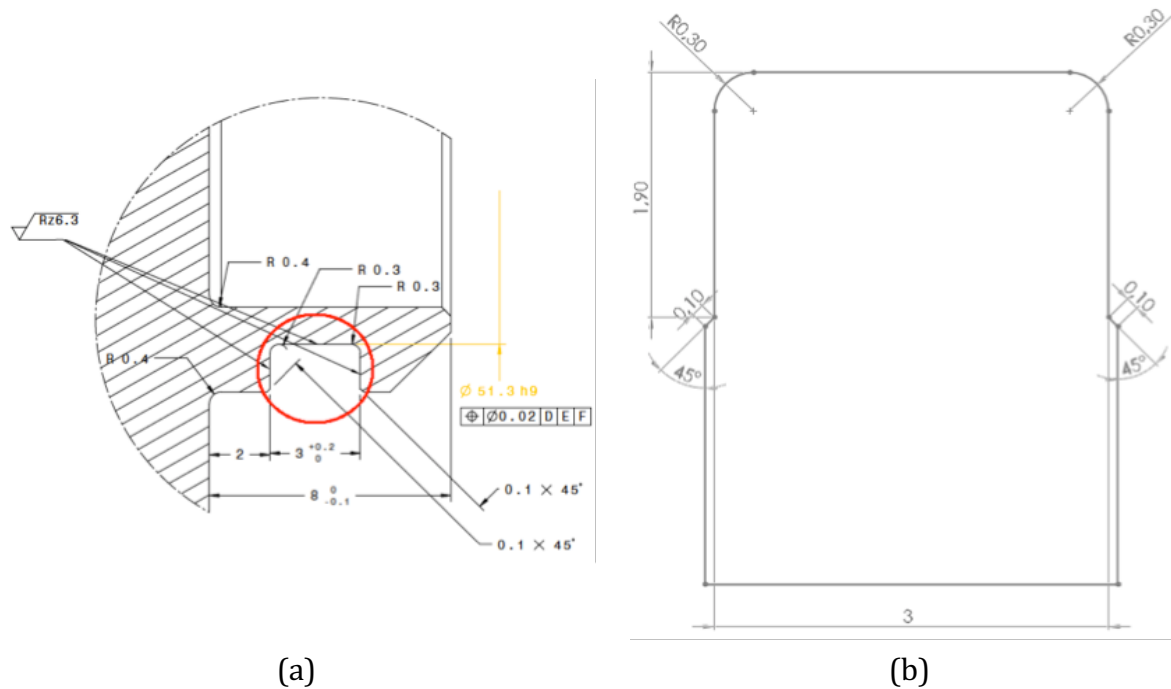


Figura 6.7 – (a) canal; (b) geometria da pastilha especial

O facto de a ferramenta conseguir executar o canal, o raio e o chanfro simultaneamente representa uma minimização de tempo relevante, considerando que se trata de um grande lote de peças. Se nesta operação apenas fosse realizado o canal seria necessário fazer duas operações posteriores a esta: definir os raios de ponta de 0.3mm (como este não é normalizado escolher-se-ia uma pastilha com raio de 0.2mm e proceder-se-ia à sua definição através de uma interpolação linear); realizar outra operação para executar os chanfros. Como esta ferramenta tem que ser feita por encomenda não é possível obter gamas de valores relativos aos parâmetros de corte, teriam que ser facultados posteriormente pelo fornecedor.

6.1.2.4 10ª Operação – Definição do Diâmetro de 48.8mm

A operação para definir o diâmetro de 48.8mm realiza-se através de um processo de torneamento interior. Não tendo nenhuma tolerância de posição, apenas uma tolerância dimen-

					P	M	K	N	S																									
		CÓDIGO ISO			1615	1525	4205	4235	4315	4325	5015	GC30	1115	1125	2015	2025	2065	235	GC15	3005	3205	3210	3215	GC30	H13A	1125	H10	H13A	1105	1115	1125	GC15	UR30	
	09	7/32	TCMT 09 02 04-KM																		*	*	*	*	*									
			TCMT 09 02 08-KM																		*	*	*	*	*									
	11	1/4	TCMT 11 03 04-KM																		*	*	*	*	*	*								
			TCMT 11 03 08-KM																		*	*	*	*	*	*								
	16	3/8	TCMT 16 T3 04-KM																		*	*	*	*	*	*	*							
			TCMT 16 T3 08-KM																	*	*	*	*	*	*	*	*							
			TCMT 16 T3 12-KM																	*	*	*	*	*	*	*	*							

Dimensões, mm, pol.

		CZC _{MS}	DIN _I	LU	OHX	CNSC	Código para pedido	DCON	BD ₁	LF	WF	HF	CP Bar PSI			
	11	1/4	C3	20.0	48.0	65.0	1	C3-STFCRA-11065-11-B1	32	16.0	65.0	11.0	0.0	10	0.9	0.15
				.787	1.890	2.559			1.260	.630	2.559	.433	.000	145		
			C3	20.0	48.0	65.0	1	C3-STFCR-11065-11	32	16.0	65.0	11.0	0.0	10	0.9	0.15
				.787	1.890	2.559			1.260	.630	2.559	.433	.000	145		
			C4	20.0	47.0	70.0	1	C4-STFCRA-11070-11	40	16.0	70.0	11.0	0.0	10	0.9	0.15

Figura 6.8 - Pastilha e suporte escolhidos para a definição do diâmetro de 48.8mm

6.1.3 Operações Realizadas no Terceiro Aperto

Neste subcapítulo são descritas as operações a realizar no terceiro aperto, em que apertando a peça pelo lado B realizam-se operações relativas ao lado A. Estas operações são realizadas recorrendo à máquina *Kern Micro*.

6.1.3.1 11ª Operação – Furos com 2.8mm de Diâmetro (Operação 7 da *DSM*)

A sobre-espessura resultante da fundição, é de $1,1mm$. Apesar da tolerância associada a este furo ser apenas de posição, é necessário que a ferramenta escolhida garanta uma boa tolerância dimensional. Isto porque um furo com uma elevada tolerância dimensional dificilmente, consegue cumprir uma tolerância geométrica apertada como esta ($0.05mm$). Como tal, estas características têm que ser tidas em conta na escolha da ferramenta para a realização desta e outras operações que tenham tolerâncias de posição apertadas, mesmo quando não existam tolerâncias geométricas exigidas pelo projeto.

Um dos problemas nesta operação é a proximidade que o furo tem da parede lateral (o eixo do furo está distanciado de $9.28mm$ da parede lateral), o que implica que ou suporte tenha um diâmetro reduzido (menor que $18.56mm$) , ou que a ferramenta possua um comprimento

suficientemente grande para conseguir realizar o furo sem que o suporte necessite de ultrapassar o nível da parede lateral. Assim sendo a ferramenta tem que ter um comprimento mínimo igual à profundidade do furo ($9.17mm$), mais a altura da parede ($8mm$), mais a sobre-espessura ($1.1mm$), o que resulta num comprimento mínimo da ferramenta de $18.27mm$. A opção mais fiável das duas apresentadas é a segunda, uma vez que se encontram catalogada e se fabricam brocas com um comprimento igual a $7 \times D$. Por outro lado é mais difícil e dispendioso encontrar suportes de diâmetros reduzidos e que consigam garantir tolerâncias apertadas.

Assim, atendendo ao que foi explicado anteriormente, a ferramenta escolhida para esta operação (Figura 6.9) apresenta um comprimento de $7 \times D$ ($19.6mm$) e tem uma tolerância associada de $10\mu m$. Na mesma figura encontra-se representado o suporte, que garante uma concentricidade de menos de $3\mu m$ para furos com uma profundidade até $10 \times d_1$.

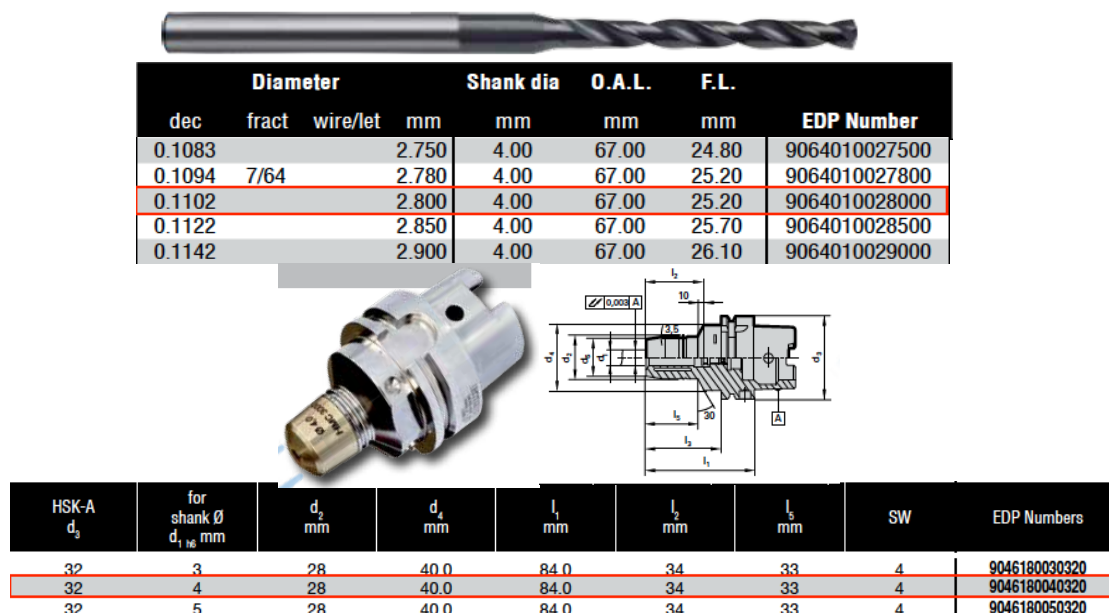


Figura 6.9 – Broca e suporte escolhidos para os furos de $2.8mm$

6.1.3.2 12ª Operação – Boleado com Raio de $0.5mm$ e Chanfros Referentes aos Furos com $2.8mm$ de Diâmetro

Este boleado apresenta uma grande dificuldade associada ao facto de o arco de circunferência não ser tangente às duas superfícies (como se pode ver na Figura 6.10) o centro da circunferência encontra-se a $0.43mm$ da superfície superior, e para que fosse tangente a ambas as superfícies teria que estar localizado a $0.5mm$, pelo que apenas é tangente à superfície interior do furo.

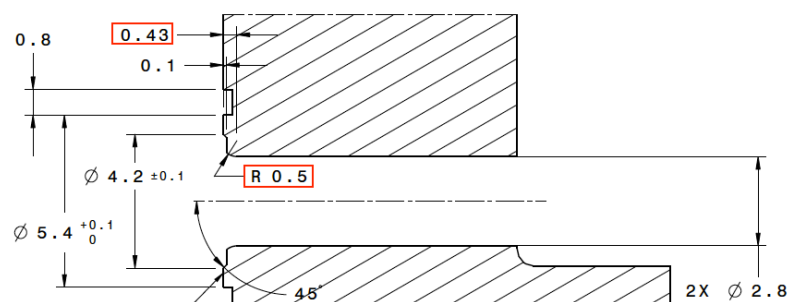


Figura 6.10 – Pormenor relativo ao boleado de 0.5mm

Para executar esta operação encontraram-se duas formas: utilizar uma ferramenta especial, que para além de realizar o furo de 2.8mm defina simultaneamente o boleado e os chanfros, solução esta que é a mais indicada para uma produção em série de grandes lotes; realizar o furo com a ferramenta descrita na operação 10, e em seguida utilizar uma fresa com um ângulo de 0.5mm para definir o boleado.

Na Figura 6.11 estão representadas as duas alternativas.

Na Figura 6.11 – (a) a geometria que a ferramenta especial necessita de ter para a execução do furo, do boleado e ainda do chanfro de 45°. Esta ferramenta permite realizar três operações, e como se trata de um grande lote de peças, irá minimizar significativamente o tempo de fabrico.

Na Figura 6.11 – (b) está representada a outra alternativa. Caso não seja possível adquirir a ferramenta descrita anteriormente utiliza-se uma fresa deste tipo. Contudo, não se encontra catalogado uma ferramenta com as dimensões requeridas, apenas com dimensões aproximada, pelo que seria necessário fazer uma encomenda ao fornecedor.

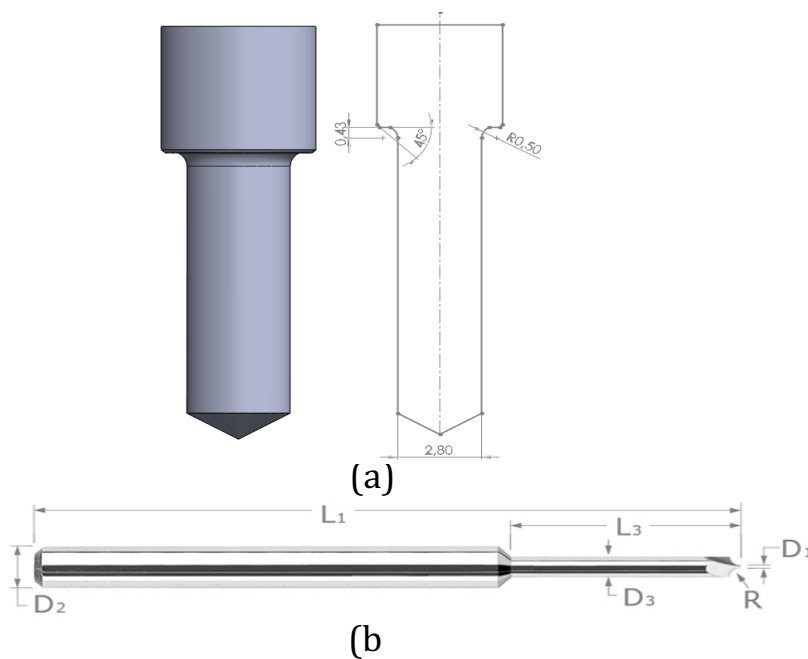


Figura 6.11 – (a) – exemplo de ferramenta especial para realizar o furo, o boleado e o chanfro em simultâneo; (b) – ferramenta para realização do boleado posteriormente ao furo

6.1.3.3 13ª Operação – Furo com Diâmetro de 4.4mm (Operação 8 da DSM)

Nesta operação não existe a dificuldade encontrada nos furos de diâmetro 2.8mm, dificuldade esta associada ao suporte. Como neste caso o furo é mais central, a única restrição a ter em conta é que este apresente um diâmetro inferior a 48.8mm. Esta operação, tal como a operação 10, tem uma sobre-espessura associada de 1.1mm, pelo que a espessura total a perfurar é de 10.27mm. De modo a satisfazer estes requisitos de projeto procede-se à escolha da ferramenta adequada bem como do suporte, representados na Figura 6.12.

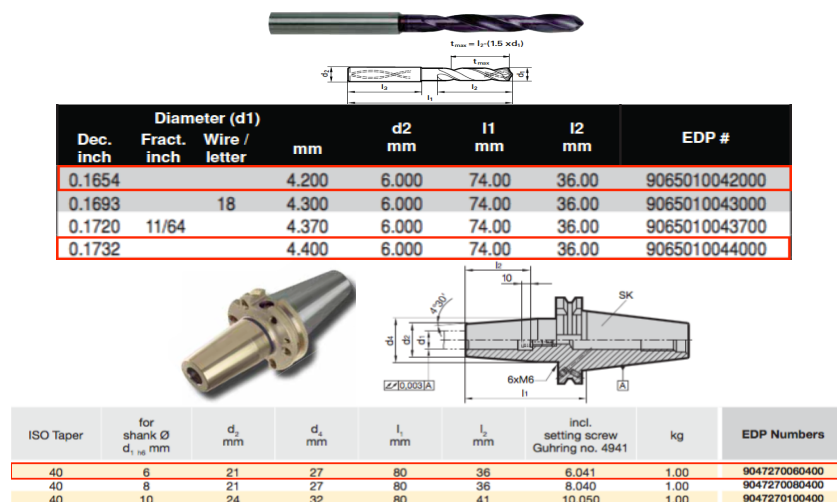


Figura 6.12 – Broca e suportes escolhidos para a realização do furo de 4.4mm de diâmetro

6.1.3.4 14ª Operação – Chanfro a 45° Relativo ao Furo com 4.4mm de Diâmetro

Na Figura 6.13 está representado o pormenor relativo a este chanfro. Como neste projeto existem mais chanfros com um ângulo de 45°, opta-se pela escolha de uma ferramenta capaz de realizar toda essas operações.

Assim sendo para a realização do chanfro a 45° utiliza-se a ferramenta e o suporte representados na Figura 6.17.

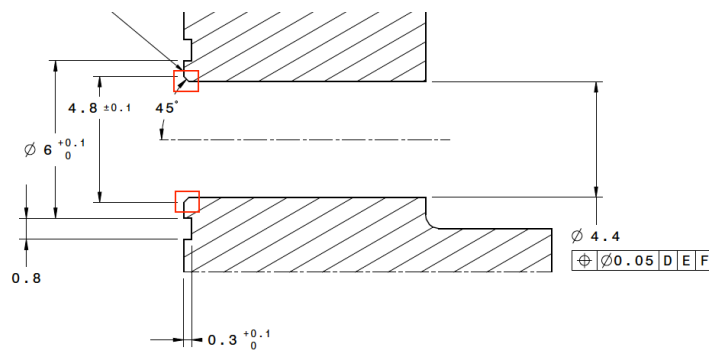
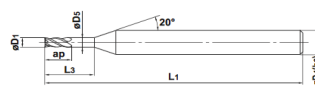


Figura 6.13 – Pormenor do chanfro a 45°

6.1.3.5 15ª Operação – Canais em Torno dos Três Furos

Na Figura 6.10 e na Figura 6.13 é possível observar que em torno de cada um dos furos é necessário realizar um canal com 0.8mm de largura e 0.3mm de profundidade. A escolha da ferramenta para a realização destes canais exigiu uma pesquisa aprofundada, devido o facto de a largura e da profundidade serem de dimensões muito reduzidas. Ainda assim, como se

pode verificar na Figura 6.14, foi possível encontrar uma ferramenta com as características pretendidas. Mas devido ao diâmetro da haste ser reduzido ($4mm$) não foi possível encontrar um suporte para esta ferramenta. Teria que ser feito uma requisição ao fornecedor, uma vez que os suportes catalogados têm $6mm$ como diâmetro mínimo da haste.



Order Number	D1	ap	L3	D5	L1	D4	N	Stock	Type
VQXLD0070N035	0.7	1	3.5	0.67	40	4	4	●	1
VQXLD0080N024	0.8	1.2	2.4	0.77	40	4	4	●	1
VQXLD0080N030	0.8	1.2	3	0.77	40	4	4	●	1

Figura 6.14 – Fresa escolhida para realização dos canais em torno dos furos

6.1.3.6 16ª e 17ª Operação – Furos com Diâmetro de 2.5mm (Operação 13 e 15)

Analisando agora os dois furos de diâmetro $2.5mm$ com uma tolerância dimensional F7, como já foi explicado no capítulo anterior, esta pode ser traduzida em $2.5^{+0.016}_{+0.006}mm$. Nesta operação existem duas dificuldades aparentes: o cumprimento dos desvios exigidos pelo projeto e a possibilidade do suporte colidir com a superfície lateral.

O primeiro problema já foi abordado anteriormente e existem duas alternativas para o solucionar:

- a mais viável passa pela alteração da tolerância do furo, esta alteração torna-se possível porque os dois furos vão ter como função a montagem de pinos guia, os quais terão a mesma tolerância do furo, e alterando os pinos para outros com uma tolerância mais habitual (foram considerados pinos com a tolerância m7) facilmente se encontra uma ferramenta para cumprir a tolerância dos furos M7. De referir que com esta alteração a tolerância mantém-se de $10\mu m$, apenas se altera o desvio superior e inferior, assim sendo a cota dos furos é de $2.5^{+0.012}_{+0.002}mm$
- a segunda alternativa consiste em encomendar ao fabricante uma broca com o diâmetro de $2.504mm$, com o desvios característicos da tolerância m7, $2.504^{+0.012}_{+0.002}mm$, esta solução iria ficar mais dispendiosa devido à precisão de milésima no diâmetro da broca. Posto isto a escolha recai pela alteração da tolerância dos pinos e consequentemente dos furos.

No caso do segundo problema a solução é a mesma apresentada anteriormente nos furos de diâmetro $2.8mm$, que é a escolha de uma broca com comprimento suficiente para que o suporte não toque na superfície lateral. Sabendo que os furos têm uma profundidade de $3.2mm$, a superfície lateral uma altura de $8mm$ e a sobre-espessura é de $1.1mm$, conclui-se

que a broca tem de ter um comprimento mínimo de 12.3mm . Em seguida escolhe-se a ferramenta e o respectivo suporte que reúna as características desejadas, os quais estão apresentados na Figura 6.15. A broca tem o um comprimento total de 17.5mm e uma tolerância associada de $10\mu\text{m}$.

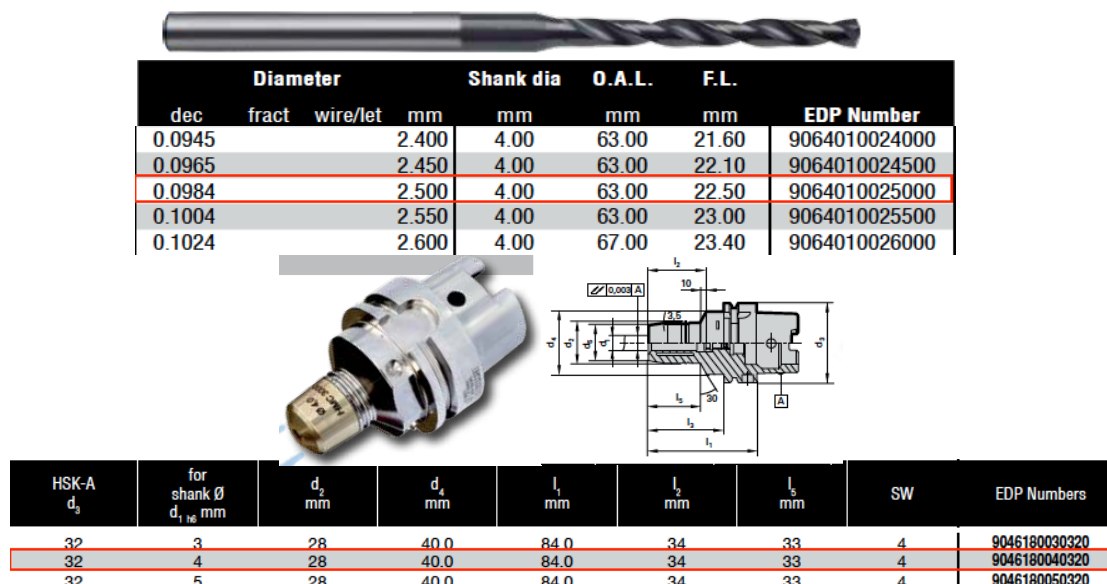


Figura 6.15 – Broca e suporte escolhido para realizar os furos de 2.5mm de diâmetro

6.1.3.7 18ª Operação – Pré-furo de 4.2mm

Para a realização do furo roscado M5 (operação 14 da *DSM*) é necessário a execução de um pré-furo. Segundo a norma DIN 13 (ver anexo 6) o pré-furo tem um diâmetro de 4.2mm . Procede-se então à escolha de uma ferramenta com o diâmetro pretendido e do respectivo suporte, componentes representados na Figura 6.12.

6.1.3.8 19ª Operação – Rosqueamento de Furo M5 (Operação 14 da *DSM*)

Concluída a pré-furação, segue-se a operação de rosqueamento para um furo M5, para a qual, como apresentado na Figura 6.16, foi necessário escolher o macho a ser utilizado tal como o respectivo suporte.

K

TDZ	TP	LU	CZC _{MS}	TCTR	Código para pedido	DCON	TD	LF	THL	NOF	BSG
M 3	0.50	18.00	3.50 x 2.70	6HX	E446M3	3.50	3.00	56.00	8.90	3	DIN 371
		.708				.138	.118	2.204	.350		
M 4	0.70	21.00	4.50 x 3.40	6HX	E446M4	4.50	4.00	63.00	11.70	4	DIN 371
		.826				.177	.157	2.480	.460		
M 5	0.80	25.00	6.00 x 4.90	6HX	E446M5	6.00	5.00	70.00	12.60	4	DIN 371
		.984				.236	.196	2.755	.496		

CZC _{MS}	CZC _{MS}	TRMAX	CNSC	CXSC	Código para pedido	DCON _{MS}	DCON _{MS}	LF	LB ₁	LB ₂	LB ₃	BD ₁	BD ₂	BD ₃	CP BarPSI	RPMX
C3	ER11	M5	1	1	970-C3-11-078	32.0	11.3	78.0	24.1	63.0	78.0	19.9	23.5	32.0	80	0.26 8000
						1.260	.445	3.071	.949	2.480	3.071	.783	.925	1.260	1160	
	ER20	M12	1	1	970-C3-20-102	32.0	20.8	102.2	40.3	102.2		33.7	34.6		80	0.60 8000
						1.260	.819	4.024	1.587	4.024		1.327	1.362		1160	

Figura 6.16 – Escolha do macho e respectivo suporte para os furos M5

6.1.3.9 20ª Operação – Chanfro de 45°

Para finalizar o furo M5 é necessário realizar um chanfro de 45° (Figura 4.8). A ferramenta e o suporte escolhidos para esta operação estão representados na Figura 6.17.


						Dimensões, mm			
						P	M	K	S
						1030	1030	1030	1030
KAPR	DC	DCX	CZC _{MS}	APMX	ZEFP	Código para pedido			
15°	1.50	12.0	E12	1.33	2	316-12CM210-12015G	☆	☆	☆
30°	12.0	E12	3.03	2	316-12CM210-12030G	☆	☆	☆	☆
45°	10.0	E10	4.23	2	316-10CM210-10045G	☆	☆	☆	☆
						DCON	LF	DN	
						11.70	14.00	11.70	
						11.70	14.00	11.70	
						9.70	11.80	9.70	

										Dimensões, mm, pol.											
					Código para pedido																
CZC _{MS}	CZC _{MS}	CNSC	CXSC	DSGN		DCON _{MS}	DCON _{MS}	LF	LB ₁	LB ₂	LB ₃	LB ₄	BD ₁	BD ₂	BD ₃	BD ₄	BHTA ₁	CP BarPSI	BBD	RPMX	
C3	E10	1	1	15	C3-391.EH-10 049	32.0	9.6	49.0	10.0	28.5	34.0	49.0	9.6	9.6	14.8	32.0	8°	150	0.15	1	40000
						1.260	.378	1.929	.384	1.122	1.339	1.929	.378	.378	.583	1.260					
	E12	1	1	15	C3-391.EH-12 054	32.0	11.6	54.0	12.0	33.9	39.0	54.0	11.6	11.6	17.8	32.0	8°	150	0.16	1	40000
						1.260	.457	2.126	.472	1.335	1.535	2.126	.457	.457	.701	1.260					
	E16	1	1	15	C3-391.EH-16 065	32.0	15.4	65.0	16.0	45.7	50.0	65.0	15.4	15.4	23.8	32.0	8°	150	0.21	1	40000
						1.260	.606	2.559	.630	1.799	1.969	2.559	.606	.606	.937	1.260					

Figura 6.17 – Fresa e respectivo suporte para a realizar os chanfros do furos de 2.5mm de diâmetro

6.1.3.10 21ª Operação – Execução dos Escateis

Os três escateis não têm grande exigência a nível de tolerâncias, o que permite a utilização de ferramentas *standard*, não sendo necessário recorrer a gamas que consigam garantir boas tolerâncias, como em outras operações já realizadas. Na Figura 6.18 está representado a ferramenta escolhida bem como o respectivo suporte.



DC	CZC _{MS}	APMX	RE	LU	ZEFP	Código para pedido	P	M	K	S	Dimensões, mm			
2.00	6.0	7.00	0.20	9.50	3	R216.23-02050ACC07P	1620	1620	1620	1620	DCON	RMPX	LF	DN
3.00	6.0	8.00	0.30	10.00	3	R216.23-03050ACC08P	☆	☆	☆	☆	6.00	5°	57.00	1.92
4.00	6.0	11.00	0.50	15.00	3	R216.23-04050BCC11P	☆	☆	☆	☆	6.00	5°	57.00	3.80

CZC _{MS}	CZC _{WS}	CNSC	CXSC	Código para pedido	DCON _{MS}	DCON _{WS}	LF	LB ₁	LB ₂	BD ₁	BD ₂	BBD
C3	06	0	0	C3-391.327-06 029	32.0	6.0	29.0	16.0	29.0	6.0	32.0	0.10
					1.260	.236	1.142	.630	1.142	.236	1.260	
09	0	0	0	C3-391.327-09 035	32.0	9.0	35.0	22.0	35.0	9.0	32.0	0.11
					1.260	.354	1.378	.866	1.378	.354	1.260	

Figura 6.18 – Fresa e suporte escolhidos para realização dos escateis

6.1.3.11 22ª Operação – Fresagem para Facilitar a Realização do Furo com Diâmetro de 3mm

A maior dificuldade na execução do furo é garantir a posição do mesmo, devido ao facto de a face não ser perpendicular à broca quando esta atacar a peça. Isto provoca o desvio da broca e consequentemente um erro associado. Para solucionar esse problema opta-se pela realização de uma indentação através de uma fresa com o diâmetro do furo (utiliza-se a fresa representada na Figura 6.18), e assim cria-se uma superfície que será paralela à broca quando esta atacar a peça o que evita os possíveis desvios.

6.1.3.12 23ª e 24ª Operações – Furo com Diâmetro 3mm (Operação 5 da DSM) e Furos com Diâmetro 5mm (Operação 6 da DSM) Respectivamente

Na Figura 6.19 está representada a escolha das ferramentas para duas operações, a realização do furo oblíquo com diâmetro de 3mm e a realização dos três furos laterais com diâmetro de 5mm. A realização dos furos de 5mm, inicialmente apresentava a dificuldade de se ter de fazer mais um aperto para a sua execução, mas devido às características da máquina *Kern*, é possível realiza-los no mesmo aperto que as operações anteriores, o que permite a minimização de desvios associados ao número de apertos. As restantes exigências associadas prendem-se com a tolerância de posição de 0.2mm.

Para satisfazer estes requisitos de projeto procede-se à escolha de uma ferramenta e respectivo suporte, esta escolha recai numa broca que garante uma tolerância de 10μm e num suporte que garante um desvio máximo de concentricidade de 3μm. Na figura abaixo (Figura 6.19), estão representados os elementos escolhidos.

Também representado na Figura 6.19 está a escolha da broca para o furo oblíquo de 3mm de diâmetro, já o suporte utilizado será igual ao da operação anterior. Nesta operação caso a

máquina escolhida não tivesse cinco eixos seria necessário fazer um novo aperto para a sua realização. Um dos factores tidos em consideração foi o comprimento da ferramenta utilizada ser superior a 29mm , distância mínima para que o suporte não colida com a peça, devido ao facto de ser um furo oblíquo.

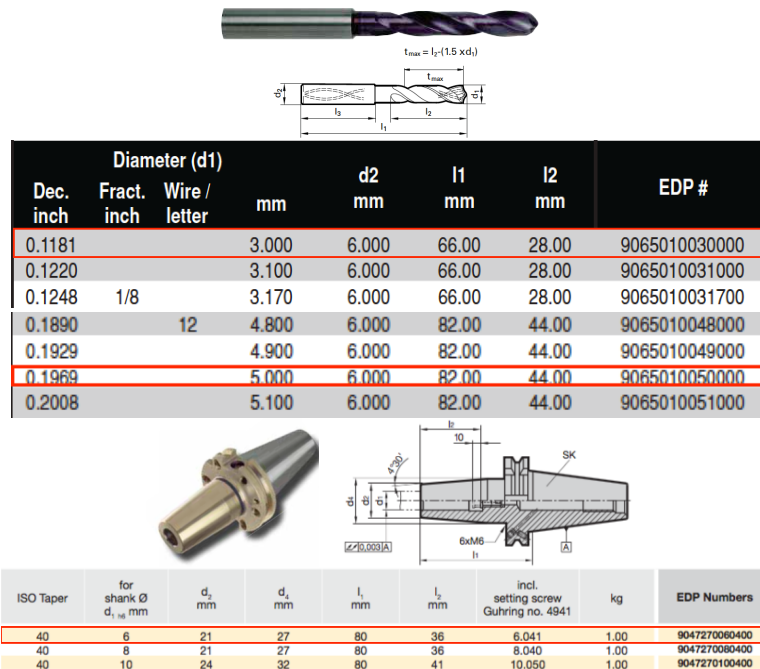


Figura 6.19 – Escolha de brocas e suporte para os furos de diâmetro 3mm e 5mm

6.1.3.13 25ª Operação – Chanfro a 45° Relativo aos Furos com Diâmetro 5mm

Como se pode observar na Figura 6.20, os furos de diâmetro 5mm têm um chanfro de 45° . Para a realização desta operação utiliza-se uma ferramenta já utilizada em operações semelhantes. Na Figura 6.17 está representada a ferramenta e o suporte escolhidos.

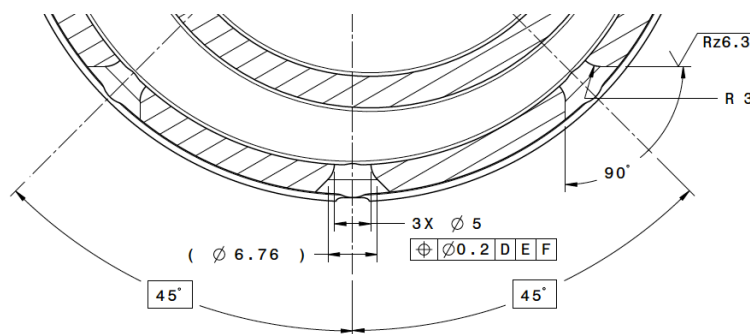


Figura 6.20 – Pormenor relativo aos chanfros dos furos de diâmetro 5mm

Tabela 6.1 – Lista de ferramentas para cada operação referente à fase de pré-mquinação

Operação	Operação (DSM)	Tipo de Operação	Fabricante	Código do produto
1	1	Torneamento	<i>Sandvik</i> ⁴	Pastilha (ISO): SNMG 15 06 12-KM Suporte: C6-PSKNR/L-45065-15HP
2 e 3	2 e 3	Torneamento	<i>Sandvik</i> ⁴	Pastilha (ISO): VNMG 16 04 08-KM Suporte: C3-MVJNR/L-22045-16
4	10	Furação	<i>Guhring</i> ⁵	Broca: 9002080022000 Suporte: 9046180040320
5	9	Furação	<i>Guhring</i> ⁵	Broca: 9002080010000 Suporte: 9046180040320
6 e 7	11 e 12	Torneamento	<i>Sandvik</i> ⁴	Pastilha (ISO): VNMG 16 04 08-KM Suporte: C3-MVJNR/L-22045-16
8	Raios de 0.2 e 0.4	Torneamento	<i>Sandvik</i> ⁴	Pastilha (ISO): CCGT 09 T3 02-UM Suporte: C4-DCLNR/L-27050-09
9	4	Torneamento	-	-
10	Torneamento interior	Torneamento	<i>Sandvik</i> ⁴	Pastilha: TCMT 11 03 04-KM Suporte: C3-STFCR/L-11065-11-B1
11	7	Furação	<i>Guhring</i> ⁵	Broca: 9064010028000 Suporte: 9046180040320
12	Boleado e chanfros	Fresagem	-	-
13	8	Furação	<i>Guhring</i> ⁶	Broca: 9065010044000 Suporte: 9047270060400
14	Chanfro	Fresagem	<i>Sandvik</i> ⁷	Fresa: 316-10CM210-10045G Suporte: C3-391.EH-10 049
15	Canais 0.8x0.3	Fresagem	<i>Mitsubishi</i> ⁸	Fresa: VQXLD0080N024
16 e 17	13 e 15	Furação	<i>Guhring</i> ⁵	Broca: 9064010025000 Suporte: 9046180040320
18	Pré-furo ($\phi = 4.2mm$)	Furação	<i>Guhring</i> ⁶	Broca: 9065010042000 Suporte: 9047270060400
19	14	Rosqueamento	<i>Sandvik</i> ⁷	Macho: E053M5 Suporte: 970-C3-11-078
20	Chanfro	Fresagem	<i>Sandvik</i> ⁷	Fresa: 316-10CM210-10045G Suporte: C3-391.EH-10 049
21	Escateis	Fresagem	<i>Sandvik</i> ⁷	Fresa: R216.23-03050ACC08P Suporte: C3-391.327-06 029
22	Criar de superfície	Fresagem	<i>Sandvik</i> ⁷	Fresa: R216.23-03050ACC08P Suporte: C3-391.327-06 029
23	5	Furação	<i>Guhring</i> ⁶	Broca: 9065010030000 Suporte: 9047270060400
24	6	Furação	<i>Guhring</i> ⁶	Broca: 9065010050000 Suporte: 9047270060400
25	Chanfro	Fresagem	<i>Sandvik</i> ⁷	Fresa: 316-10CM210-10045G Suporte: C3-391.EH-10 049

⁴ http://sandvik.ecbook.se/SE/pt/Turning_Tools_2015/

⁵ <http://www.guhring.com/documents/catalog/drills/microdrills.pdf>

⁶ <http://www.guhring.com/Documents/Catalog/Drills/FullLineDrills2013.pdf>

⁷ http://sandvik.ecbook.se/SE/pt/Rotating_Tools_2015/

⁸ <http://www.mitsubishicarbide.com/mmc/en/product/pdf/b/b210g-f.pdf>

Tabela 6.2 - Parâmetros de corte recomendados para a fase de pré-maquinação

Operação	Operação (DSM)	Avanço de Corte ($f_n = mm/r$)	Velocidade de corte ($v_c = m/min$)
1	1	0.2-0.6	425-300
2 e 3	2 e 3	0.2-0.6	425-300
4	10	0.2032-0.254	14
5	9	0.2032-0.254	67
6 e 7	11 e 12	0.2-0.6	425-300
8	Raios de 0.2 e 0.4	0.1-0.5	140-95
9	4	-	-
10	Torneamento interior	0.2-0.6	355-245
11	7	0.254-0.328	149
12	Boleado e chanfros	-	-
13	8	0.152-0.318	209
14	Chanfro	0.055-0.085 (mm/dente)	110-160
15	Canais 0.8x0.3	-	60
16 e 17	13 e 15	0.254	149
18	Pré-furo ($\phi = 4.2mm$)	0.1524-0.3175	209
19	14	0.8	18
20	Chanfro	0.055-0.085 (mm/dente)	110-160
21	Escateis	0.006-0.0070 (mm/dente)	135-180
22	Criação de superfície	0.006-0.0070 (mm/dente)	135-180
23	5	0.1524	209
24	6	0.1524	209
25	Chanfro	0.055-0.085 (mm/dente)	110-160

6.2 Fase de Acabamento

Na fase de acabamento apenas são realizadas operações no lado B da peça. Devido às tolerâncias apertadas presentes nesta fase opta-se por realizar todas as operações num único aperto. Assim evitam-se desvios associados ao número de apertos, e para que isso seja possível utiliza-se, mais uma vez, a máquina-ferramenta *Kern Micro*.


6.2.1 Operações a Realizar no Primeiro Aperto

Como já foi citado anteriormente, todas as operações são realizadas num único aperto, em que apertando a peça pelo lado A se procede à sua maquinação no lado B.

6.2.1.1 1ª Operação – Furo com 1.8mm de Diâmetro (Operação 19 da DSM)

A operação que contempla a realização do furo com 1.8mm de diâmetro não apresenta uma elevada exigência ao nível das tolerâncias, apenas tem que cumprir uma tolerância de posição do seu eixo. A dificuldade aqui relaciona-se com a profundidade do furo face ao diâmetro do mesmo, em que a profundidade é cerca de dez vezes superior ao diâmetro, pelo que se torna difícil manter a concentricidade do furo.

Para a resolução deste problema, recorre-se a uma gama de ferramentas concebida para furos com grandes profundidades face ao diâmetro, do fabricante *Guhring*. Esta ferramenta, apresentada na Figura 6.21, tem um comprimento quinze vezes superior ao seu diâmetro e garante uma tolerância h7. O suporte está representado na Figura 6.9.



Diameter			Shank dia	O.A.L.	F.L.	EDP Number	
dec	fract	wire/let	mm	mm	mm		
0.0669		51	1.700	4.00	70.00	31.00	9064120017000
0.0709			1.800	4.00	70.00	32.00	9064120018000
0.0748			1.900	4.00	70.00	34.00	9064120019000

Figura 6.21 – Ferramenta escolhida para a realização do furo com 1.8mm de diâmetro

6.2.1.2 2ª e 3ª Operação – Furos com 3mm de Diâmetro (Operação 20 e 21 da DSM)

Os furos com diâmetro de 3mm apresentam uma das maiores dificuldades deste projeto. Dificuldade esta que surge devido ao facto de tanto a nível geométrico como dimensional possuir tolerâncias apertadas. Ambos os furos têm associado uma tolerância dimensional R7, que pode ser traduzida em $3_{-0.02}^{0.01}mm$. Para além desta tolerância também é necessário cumprir a tolerância de posição de $10\mu m$.

O primeiro furo a realizar é o que está indicado como operação 21 da DSM, uma vez que o furo referenciado como operação 20 tem associado uma tolerância de posição relativa ao eixo do furo da operação 21.

Para cumprir as exigências de projeto associadas aos furos existem duas opções: realizar um pré-furo com diâmetro inferior ao desejado e posteriormente realizar uma operação de *reaming* que serve como acabamento e definirá a dimensão final da peça; adquirir uma broca que consiga cumprir as exigências.

Analisando as duas opções, a escolha incidiu na segunda opção apresentada. Na primeira opção seria necessário adquirir um *reamer*, sendo que catalogado não foi encontrado nenhum que satisfizesse os requisitos exigidos pelo projeto. Desta forma teria que se encomendar ao fornecedor um *reamer* com o diâmetro desejado. Assim torna-se mais viável a segunda opção. Apesar de também ser necessário encomendar uma ferramenta, como no caso do *reamer*, não é necessário realizar nenhum pré-furo, o que irá permitir uma redução notória no tempo de fabrico. A ferramenta escolhida para esta operação é da mesma série da apresentada na Figura 6.15, com a diferença de que não se encontra catalogada e o seu diâmetro terá que ser de $2.978mm$. Sabendo que a broca tem uma tolerância m7, surge que o furo terá o diâmetro de $2.978^{+0.012}_{+0.002}mm$, cumprindo assim o requisito.

6.2.1.3 4ª e 5ª Operação – Chanfros a 30° nos Furos com Diâmetro de 3mm

Para a realização dos chanfros a 30° utiliza-se uma fresa, já utilizada em outras operações, que está representada na Figura 6.17, sendo que o respectivo suporte também está representado nesta tabela.

6.2.1.4 6ª Operação – Facejamento que Define o Plano Indicado pela Referência L (Operação 24 da DSM)

Na fase de pré-maquinação realiza-se um facejamento nesta mesma face. Nesse caso definindo a referência D, agora na fase de acabamento a operação é semelhante, contudo as tolerâncias associadas a esta operação têm um nível de exigência superior. É necessário cumprir uma tolerância de forma e de paralelismo (em relação à referência G), ambas de $20\mu m$. A escolha da ferramenta e suporte para esta operação consiste na mesma utilizada na primeira operação da pré-maquinação, Figura 6.2. Nesta operação o método de fixação será determinante para o cumprimento das tolerâncias apresentadas, mas como já foi referido anteriormente a presente dissertação não contempla a escolha de métodos de fixação.

6.2.1.5 7ª Operação – Definição do Perfil do *Scroll* (Operações 17, 18, 22 e 23 da *DSM*)

Para a realização do perfil do *scroll* consideram-se duas alternativas para a sua maquinação. Como se pode verificar na Figura 4.13, existem dois raios a cumprir, um entre a base da espiral e a parede com $0.3mm$ e outro de $0.35mm$ entre o topo da espiral e a parede. Posto isto e tomando em atenção as tolerâncias associadas à parede, base e topo da espiral, garantir que estes dois raios são executados simultaneamente é fundamental para cumprir os requisitos de projeto. Assim sendo a primeira alternativa encontrada passa pela utilização de uma ferramenta (fresa) com a geometria representada na Figura 6.22, igual à que é desejada imprimir na peça. Devido ao facto de a ferramenta ter um diâmetro igual ao maior raio da ponta da espiral, percorrendo esta o trajeto representado na Figura 6.23, a área da base que está compreendida entre paredes é também maquinada nesta operação. O facto de a fresa ter um diâmetro maior na sua parte superior tem como objetivo maquinar, nesta mesma operação, o topo da espiral.

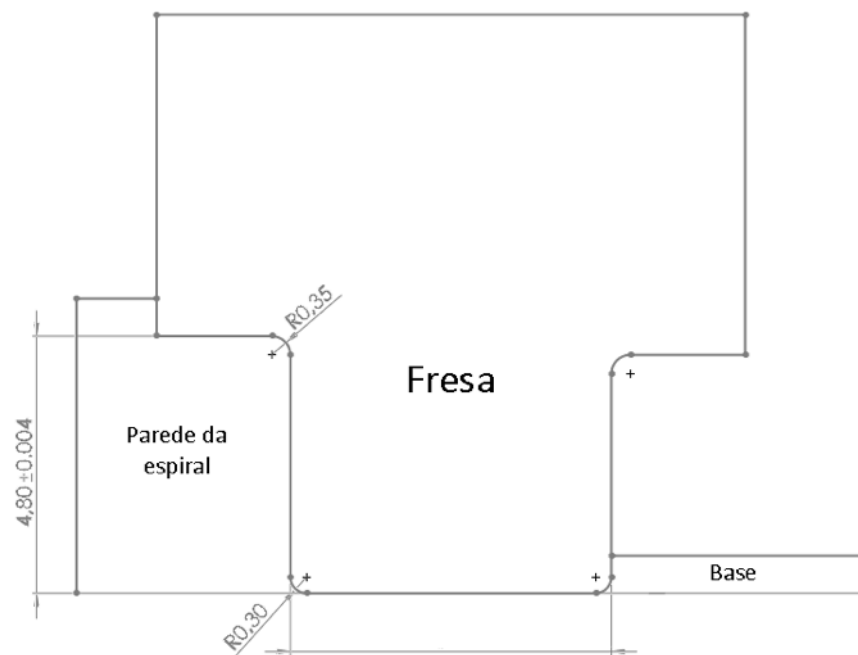


Figura 6.22 – Geometria da fresa

Nesta alternativa apresentada, a principal dificuldade surge porque a ponta da espiral tem um raio inferior, pelo que não é possível ser realizado com a mesma fresa. É necessário recorrer à utilização de uma outra ferramenta, com um diâmetro igual ao raio mais pequeno.

A segunda alternativa, tem o mesmo princípio da anterior, mas neste caso apenas se utiliza a ferramenta com o diâmetro de 3mm . Como consequência disso, não é possível definir toda a área da base que está compreendida entre as paredes da espiral, sendo necessário que na operação seguinte onde é maquinado a área da base da espiral, assinalada a azul na Figura 6.23, se proceda à maquinação dessa área.

6.2.1.6 8ª Operação – Definição da Base do *Scroll* (Operação 23 da *DSM*)

Nesta operação recorre-se ao processo de rectificação, uma vez que consegue garantir ótimas qualidades de acabamento, o que é exigido devido às tolerâncias representadas. Na Figura 6.23 representado a azul surge a área referente à base da espiral que necessita de ser maquinada nesta operação. No entanto como referido na operação anterior, caso a segunda alternativa seja a escolhida, é necessário proceder também à maquinação da superfície da base que está compreendida entre as paredes da espiral, porque devido ao reduzido diâmetro da fresa utilizada não é possível maquinar a totalidade dessa área.

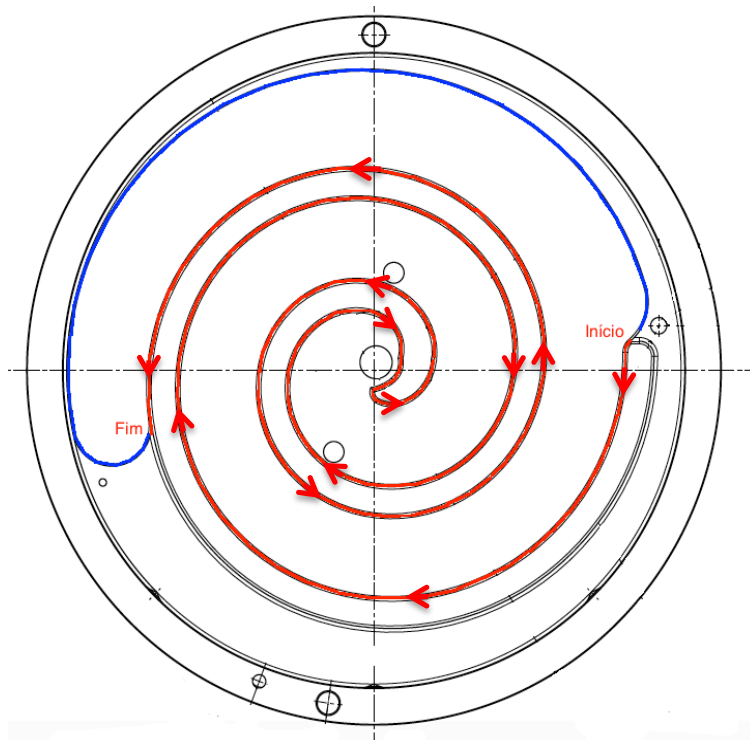


Figura 6.23 – Trajeto realizado pela fresa

Tabela 6.3 - Lista de ferramentas para cada operação referente à fase de acabamento

Operação	Operação (DSM)	Tipo de Operação	Fabricante	Código do produto
1	19	Furação	<i>Guhring</i> ⁵	Broca: 9064120018000 Suporte: 9046180040320
2 e 3	4 e 5	-	-	-
4 e 5	Chanfros	Fresagem	<i>Sandvik</i> ⁷	Fresa: 316-10CM210-10045G Suporte: C3-391.EH-10 049
6	24	Torneamento	<i>Sandvik</i> ⁴	Pastilha (ISO): SNMG 15 06 12-KM Suporte: C6-PSKNR/L-45065-15HP
7	17, 18, 22 e 23	-	-	-
8	23	-	-	-

Tabela 6.4 - Parâmetros de corte recomendados para a fase de acabamento

Operação	Operação (DSM)	Avanço de Corte ($f_n = mm/r$)	Velocidade de corte ($v_c = m/min$)
1	19	0.089-0.119	149
2 e 3	4 e 5	-	-
4 e 5	Chanfros	0.055-0.085 (mm/dente)	110-160
6	24	0.2-0.6	425-300
7	17, 18, 22 e 23	-	-
8	23	-	-

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

No decorrer da dissertação apresentou-se uma metodologia que tem como principal objetivo a contribuição para a elaboração de planos de maquinação baseados em tolerâncias. Esta metodologia baseia-se em quatro fases distintas: definição de objetivos; análise dos desenhos; sequência de maquinação; e escolha de ferramentas.

Recorrendo a um caso real da indústria, em parceria com uma empresa, elaborou-se um plano de maquinação para uma peça, plano este que englobou quatro fases. Na primeira fase, relativa à definição de objetivos, definiu-se o objetivo principal: realizar um plano de maquinação que contemple o menor número de apertos, para que os desvios a isto associado sejam tão pequenos quanto possível. Numa segunda fase procedeu-se a uma análise pormenorizada dos desenhos, onde surgem dúvidas e algumas incoerências, pelo que o contacto com o proprietário nesta fase é completamente imprescindível, não só pelos esclarecimentos mas também pelas pequenas alterações que podem ser realizadas, sendo que algumas delas simplificam problemas que poderiam demorar algum tempo a solucionar.

Na sequência de operações, recorrer a métodos auxiliares como a matriz *DSM* é, sem dúvida alguma uma grande vantagem, para além da economizarão de tempo, o risco de realizar uma sequência de operações que não respeite todas as dependências fica bastante reduzido. Ainda assim é um método bastante intuitivo e que não requer grande aprendizagem/estudo por parte do utilizador. Por fim realizou-se a escolha de ferramentas, em que a preocupação com as tolerâncias garantidas por cada ferramenta merecem um cuidado redobrado. A escolha de ferramentas deve ter em atenção o volume de peças. Por vezes a aquisição de ferramentas especiais é uma mais valia, tanto na minimização de tempos como na minimização de desvios.

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível adquirir importantes conhecimentos na área do toleranciamento, que são realmente importantes na formação de estudante de

engenharia mecânica. Para a criação de um bom plano de maquinação é crucial fazer uma análise detalhada dos desenhos fornecidos, e denotando um bom conhecimento ao nível das tolerâncias é uma real mais valia nesse processo, principalmente quando estão em causa produções em grande série. Todavia, este tema relacionado com a influência das tolerâncias no planeamento de processo e mais concretamente no plano de maquinação, é um tema pouco abordado nos planos curriculares de engenharia mecânica em Portugal, seria interessante se este assunto fosse estudado mais aprofundadamente de modo a conseguir abrir um campo de oportunidades na área da preparação de fabrico.

Futuramente seria interessante pensar nos métodos de fixação que melhor se adequam para cada um dos apertos realizados, sendo que este é um dos pontos fulcrais para que possam ser cumpridas todas as exigências de projeto ao nível das tolerâncias.

Incorporação de *feedback* das empresas na melhoria do método.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Scribd." [Online]. Available: <http://pt.scribd.com/doc/73676565/Caracteristicas-e-Propriedades-do-ferro-fundido-aco-carbono-aco-inoxidavel-e-aluminio#scribd>. [Accessed: 02-Aug-2015].
- [2] "Matweb." [Online]. Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ec56a89f37f74e2f867a64b0f87f1e9d&ckck=1>. [Accessed: 02-Jul-2015].
- [3] J. Catherine M. Cotell, James A. Sprague, and Fred A. Smidt, *ASM Handbook Volume 5 Surface Engineering*. 1994.
- [4] M. Bagge, "An approach for systematic process planning of gear transmission parts," 2009.
- [5] "Mazak." [Online]. Available: <https://www.mazakeu.com/machines/integrex-i-200/>. [Accessed: 21-Sep-2015].
- [6] "Kern." [Online]. Available: <http://www.kern-microtechnik.com/en/machine-tool-manufacture/products/kern-micro/>. [Accessed: 14-Aug-2015].
- [7] A. J. F. Mourão, *Tolerâncias geométricas - Interpretação, princípios e métodos de verificação*. Brochura da disciplina de Toleranciamento de Sistemas Mecânicos FCT-UNL, 2004.
- [8] J.-P. Cordebois, *Fabrication par Usinage*, 2^a Edição. Paris: DUNOD, 2003.
- [9] A. J. F. Mourão, *Acabamentos e tolerâncias dimensionais*. Brochura da disciplina de Toleranciamento de Sistemas Mecânicos FCT-UNL, 2010.
- [10] "Scholz-mechanik." [Online]. Available: http://www.scholz-mechanik.de/servicedocs/GB233_Machine_Elements.pdf. [Accessed: 21-Sep-2015].

ANEXOS

Anexo 1 - Valores dos graus IT das tolerâncias normalizadas (Segundo NP-189:1962(1ª Edição))

Cota nominal (mm)		Graus das tolerâncias normalizados																			
		IT01	IT0	IT1 ¹⁾	IT2 ¹⁾	IT3 ¹⁾	IT4 ¹⁾	IT5 ¹⁾	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 ²⁾	IT15 ²⁾	IT16 ²⁾	IT17 ²⁾	IT18 ²⁾
Acima	Até (inc.)	Tolerâncias																			
		µm										mm									
-	3 ³⁾	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630 ¹⁾			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800 ¹⁾			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000 ¹⁾			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250 ¹⁾			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600 ¹⁾			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000 ¹⁾			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500 ¹⁾			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150 ¹⁾			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

Anexo 2 – Valores dos desvios de referência de veios (Segundo NP-189:1962(1ª Edição)

Cota nominal (mm)		Desvio superior, ds (μm)											Desvio inferior, di (μm)																						
		Todos os graus de tolerâncias normalizadas											IT5 e IT6	IT7	IT8	IT4 a IT7	Até IT3 (incl.) e acima de IT7	Todos os graus de tolerâncias normalizadas																	
Acima	Até (inc.)	a ⁽¹⁾	b ⁽¹⁾	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js ⁽²⁾	j	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc						
-	3 ⁽¹⁾	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18	+20		+26	+32	+40	+60				
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4		+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28	+35	+42	+50	+80				
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5		+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34	+42	+52	+67	+97				
10	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0		-3	-6		+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40	+50	+64	+90	+130				
14	18																							+39	+45		+60	+77	+108	+150					
18	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0		-4	-8		+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188			
24	30																								+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218		
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0		-5	-10		+2	0	+9	+17	+26	+34	+43		+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274		
40	50	-320	-180	-130																					+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325		
50	65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0		-7	-12		+2	0	+11	+20	+32				+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80	-360	-200	-150																					+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0		-9	-15		2	0	+13	+23	+37				+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120	-410	-240	-180																					+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120	140	-460	-260	-200																					+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0		-11	-18		3	0	+15	+27	+43				+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180	-580	-310	-230																					+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180	200	-660	-340	-240																					+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200	225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0		-13	-21		3	0	+17	+31	+50				+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225	250	-820	-420	-280																					+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250	280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0		-16	-26		4	0	+20	+34	+56				+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280	315	-1050	-540	-330																					+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315	355	-1200	-600	-360		-210	-125		-62		-18	0		-18	-28		4	0	+21	+37	+62				+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355	400	-1350	-680	-400																					+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400	450	-1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0		-20	-32		5	0	+23	+40	+68				+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450	500	-1650	-840	-480																					+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600
500	560					-260	-145		-76		-22	0					0	0	+26	+44	+78				+150	+280	+400	+600							
560	630																								+155	+310	+450	+660							
630	710					-290	-160		-80		-24	0					0	0	+30	+50	+88				+175	+340	+500	+740							
710	800																								+185	+380	+560	+840							
800	900					-320	-170		-86		-26	0					0	0	+34	+56	+100				+210	+430	+620	+940							
900	1000																								+220	+470	+680	+1050							
1000	1120					-350	-195		-98		-28	0					0	0	+40	+66	+120				+250	+520	+780	+1150							
1120	1250																								+260	+580	+840	+1300							
1250	1400					-390	-220		-110		-30	0					0	0	+48	+78	+140				+300	+640	+960	+1450							
1400	1600																								+330	+720	+1050	+1600							
1600	1800					-430	-240		-120		-32	0					0	0	+58	+92	+170				+370	+820	+1200	+1850							
1800	2000																								+400	+920	+1350	+2000							
2000	2240					-480	-260		-130		-34	0					0	0	+68	+110	+195				+440	+1000	+1500	+2300							
2240	2500																								+460	+1100	+1650	+2500							
2500	2800					-520	-290		-145		-38	0					0	0	+76	+135	+240				+550	+1250	+1900	+2900							
2800	3150																								+580	+1400	+2100	+3200							

Anexo 3 – Valores dos desvios de referência de furos (Segundo NP-189:1962(1ª Edição))

Cota nominal (mm)		Desvio inferior, DI (μm)												Desvio superior, DS (μm)																	Valores para Δ													
		Todos os graus de tolerâncias normalizadas												IT6	IT7	IT8	Até IT8 (incl.)	Acima de IT8	Até IT8 (incl.)	Acima de IT8	Até IT8 (incl.)	Acima de IT8	Até IT7 (incl.)	Graus de tolerâncias normalizadas acima de IT7											Graus de tolerâncias normalizadas									
Acima	Até (inc.)	A ⁽¹⁾	B ⁽¹⁾	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS ⁽²⁾	J			K ⁽³⁾		M ⁽⁴⁾		N ⁽⁵⁾		P e ZC ⁽⁶⁾	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8			
-	3 ⁽²⁾	+270	+40	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	Desvio = $\pm ITn/2$, sendo n o valor numérico de IT	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4	Valores como para os graus das tolerâncias normalizadas acima de IT7 incrementados de Δ	-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0			
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-1+ Δ		-4+ Δ	-4	-8+ Δ	0			-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6		
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	-1+ Δ		-6+ Δ	-6	-10+ Δ	0			-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7		
10	14	+290	+150	+95		+50	+32		+16		+6	0		+6	+10	+15	-1+ Δ		-7+ Δ	-7	-12+ Δ	0			-18	-23	-28		-33		-40		-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9		
14	18																																						-39	-45		-60	-77	-108
18	24	+300	+160	+110		+65	+40		+20		+7	0		+8	+12	+20	-2+ Δ		-8+ Δ	-8	-15+ Δ	0			-22	-28	-35		-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12		
24	30																																						-41	-48	-55	-64	-75	-88
30	40	+310	+170	+120		+80	+50		+25		+9	0		+10	+14	+24	-2+ Δ		-9+ Δ	-9	-17+ Δ	0			-26	-34	-43		-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1,5	3	4	5	9	14	
40	50	+320	+180	+130																															-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325	
50	65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0		+13	+18	+28	-2+ Δ		-11+ Δ	-11	-20+ Δ	0			-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16		
65	80	+360	+200	+150																															-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360
80	100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0		+16	+22	+34	-3+ Δ		-13+ Δ	-13	-23+ Δ	0			-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19		
100	120	+410	+240	+180																															-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525
120	140	+460	+260	+200		+145	+85		+43		+14	0		+18	+26	+41	-3+ Δ		-15+ Δ	-15	-27+ Δ	0			-43	-65	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800								
140	160	+520	+280	+210																															-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700
160	180	+580	+310	+230		+170	+100		+50		+15	0		+22	+30	+47	-4+ Δ		-17+ Δ	-17	-31+ Δ	0			-50	-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000								
180	200	+660	+340	+240																															-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880
200	225	+740	+380	+260		+190	+110		+56		+17	0		+25	+36	+55	-4+ Δ		-20+ Δ	-20	-34+ Δ	0			-56	-78	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700	4	4	7	9	20	29
225	250	+820	+420	+280																															-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300
250	280	+920	+480	+300		+210	+125		+62		+18	0		+29	+39	+60	-4+ Δ		-21+ Δ	-21	-37+ Δ	0			-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32		
280	315	+1050	+540	+330																													-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100	
315	355	+1200	+600	+360		+230	+135		+68		+20	0	+33	+43	+66	-5+ Δ		-23+ Δ	-23	-40+ Δ	0		-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34				
355	400	+1350	+680	+400																														-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600
400	450	+1500	+760	+440		+260	+145		+76		+22	0				0		-26		-44																								
450	500	+1650	+840	+480																																								
500	560																																											
560	630																																											
630	710					+290	+160		+80		+24	0				0		-30		-50																								
710	800																																											

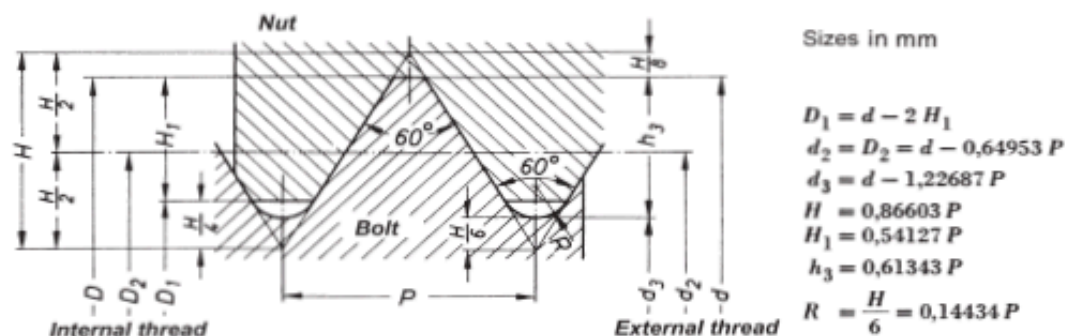
Anexo 4 – Sobre-espessura de fundição[8]

Cote de base (en mm)		Classes de tolérances dimensionnelles des pièces moulées							
		Tolérances totales de moulage (en mm)							
Au-dessus de	Jusqu'à et y compris	4 Cire perdue Zinc SP	5 Sous pression des légers	6 Sous pression des cuivreux	7 Coquille basse pression	8 Moulage mécanisé en sable	9 Moulage main des légers	10 Moulage main des cuivreux	11 Moulage main des ferreux
-	10	0,26	0,36	0,52	0,74	1	1,5	2	2,8
10	16	0,28	0,38	0,54	0,78	1,1	1,6	2,2	3
16	25	0,30	0,42	0,58	0,82	1,2	1,7	2,4	3,2
25	40	0,32	0,46	0,64	0,90	1,3	1,8	2,6	3,6
40	63	0,36	0,50	0,70	1	1,4	2	2,8	4
63	100	0,40	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4
100	160	0,44	0,62	0,88	1,2	1,8	2,5	3,6	5
160	250	0,50	0,70	1	1,4	2	2,8	4	5,6
250	400	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6,2
400	630	0,64	0,90	1,2	1,8	2,6	3,6	5	7
630	1 000		1	1,4	2	2,8	4	6	8

Anexo 5 – Rugosidades, desvios dimensionais e geométricos obtidos em diferentes processos tecnológicos[9]

Dimensões	Função das superfícies	sem contacto		contacto fixo		centragem contacto móvel guiamento		estanquidade trajectória precisa					Tolerâncias Geométricas (µm)				
	Natureza das superfícies	bruta		precisão média		boa precisão		precisão elevada									
	Qualidade IT	16-15-14-13-12		11-10-9		8-7-6		5-4-3-2-1-0-01									
Rugosidade	Aspecto	mate		semi mate				brilhante			espelhado						
	Símbolos antigos	~		▽		▽▽				▽▽▽							
	Qualidade	grosseira				média				fina		Muito fina					
	Nº classe (ISO 1302)	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1					
	Rt (µm)	120	55	27	12	5.7	2.8	1.4	0.6	0.25	0.1	0.05					
	Ra (µm)	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	//	⊥	⊙	∠	
Fundição em areia																	
Fundição em cera perdida																	
Fundição em coquilha.																	
Fundição injectada																	
Estampagem a quente																	
Extrusão a quente																	
Extrusão a frio																	
Oxicorte																	
Sinterização														20		20	
Fresagem com aço rápido														50-10	30	5-20	10
Fres. c/ ferr. de carbonetos														20-10	20		10
Torneamento pesado																	
Torneamento fino														20-10	20	5-10	10
Torn. com ferr. diamantada														10	20	10	10
Corte por arrombamento														200	100	100	100
Mandrillamento														5	10	10	10
Brochagem														2		2	
Rectificação de produção																	
Rectificação de precisão														1	1	2	2
Honing														0.5	1	2	2
Lapping																	
Polimento mecânico																	
Polimento electrolítico																	
Super acabamento														0.5	1	5	2
Maquinagem electrolítica																	
		Valores económicos						Valores possíveis									

Anexo 6 – Informação Relativa à Norma DIN 13 [10]



Nominal value of thread d = D			Pitch	Flank- ϕ	Root- ϕ		Depth of thread		Radius
Row 1	Row 2	Row 3	P	$d_2 = D_2$	d_3	D_1	h_3	H_1	R
M 1			0,25	0,838	0,693	0,729	0,153	0,135	0,036
	M 1,1		0,25	0,938	0,793	0,829	0,153	0,135	0,036
M 1,2			0,25	1,038	0,893	0,929	0,153	0,135	0,036
	M 1,4		0,3	1,205	1,032	1,075	0,184	0,162	0,043
M 1,6			0,35	1,373	1,170	1,221	0,215	0,189	0,051
	M 1,8		0,35	1,573	1,371	1,421	0,215	0,189	0,051
M 2			0,4	1,740	1,509	1,567	0,245	0,217	0,058
	M 2,2		0,45	1,908	1,648	1,713	0,276	0,244	0,065
M 2,5			0,45	2,208	1,948	2,013	0,276	0,244	0,065
M 3			0,5	2,675	2,387	2,459	0,307	0,271	0,072
	M 3,5		0,6	3,110	2,764	2,850	0,368	0,325	0,087
M 4			0,7	3,545	3,141	3,242	0,429	0,379	0,101
	M 4,5		0,75	4,013	3,580	3,688	0,460	0,406	0,108
M 5			0,8	4,480	4,019	4,134	0,491	0,433	0,115
M 6			1	5,350	4,773	4,917	0,613	0,541	0,144
	M 7		1	6,350	5,773	5,917	0,613	0,541	0,144
M 8			1,25	7,188	6,466	6,647	0,767	0,677	0,180
		M 9	1,25	8,188	7,466	7,647	0,767	0,677	0,180
M 10			1,5	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812	0,217
		M 11	1,5	10,026	9,160	9,376	0,920	0,812	0,217
M 12			1,75	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947	0,253
	M 14		2	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083	0,289
M 16			2	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083	0,289
	M 18		2,5	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353	0,361
M 20			2,5	18,376	16,933	17,294	1,534	1,353	0,361
	M 22		2,5	20,376	18,933	19,294	1,534	1,353	0,361
M 24			3	22,051	20,319	20,752	1,840	1,624	0,433
	M 27		3	25,051	23,319	23,752	1,840	1,624	0,433
M 30			3,5	27,727	25,706	26,211	2,147	1,894	0,505
	M 33		3,5	30,727	28,706	29,211	2,147	1,894	0,505
M 36			4	33,402	31,093	31,670	2,454	2,165	0,577
	M 39		4	36,402	34,093	34,670	2,454	2,165	0,577
M 42			4,5	39,077	36,479	37,129	2,760	2,436	0,650
	M 45		4,5	42,077	39,479	40,129	2,760	2,436	0,650
M 48			5	44,752	41,866	42,587	3,067	2,706	0,722
	M 52		5	48,752	45,866	46,587	3,067	2,706	0,722
M 56			5,5	52,428	49,252	50,046	3,374	2,977	0,794
	M 60		5,5	56,428	53,252	54,046	3,374	2,977	0,794
M 64			6	60,103	56,639	57,505	3,681	3,248	0,866
	M 68		6	64,103	60,639	61,505	3,681	3,248	0,866